



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
CARRERA DE BIOLOGÍA**

**FÓSFORO INORGÁNICO EN EL SISTEMA LAGUNAR  
COSTERO GRANDE, VERACRUZ (2018-2019)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

**P R E S E N T A:  
MONSERRAT SALAZAR GONZÁLEZ**

**JURADO DE EXAMEN**

**DIRECTOR: M. en C. ERNESTO MENDOZA VALLEJO  
ASESORA: M. en C. CATALINA MACHUCA RODRÍGUEZ  
ASESOR: M. en C. GENARO MONTAÑO ARIAS  
SINODAL: M. en C. GUADALUPE BRIBIESCA ESCUTIA  
SINODAL: MTRO. CARLOS ALBERTO SANTANA MARTÍNEZ**



**CIUDAD DE MÉXICO**

**ABRIL 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por los conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación académica y por permitirme conocer y vivir experiencias inolvidables.

Agradezco a mi Asesor de Tesis Ernesto Mendoza, una de las personas que más admiro por su inteligencia y sus conocimientos, gracias por confiar en mí, para realizar este proyecto, por haber sido muy paciente conmigo, usted formo parte importante de esta historia con sus aportes profesionales que lo caracterizan. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más las necesite; por estar allí cuando mis horas de trabajo se hacían confusas. Gracias por sus orientaciones.

## DEDICATORIAS

Esta tesis la dedico con todo mi corazón a mi madre *Silvia González*, ya que sin ella no lo hubiera logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Gracias madre mía por tu paciencia y amor incondicional, te amo.

A mi hermana *Silvia Salazar*, eres la razón de sentirme tan orgullosa de culminar mi meta, gracias por confiar siempre en mí.

A mi tía *Martha González*, eres una persona muy especial en mi vida, te agradezco mucho por siempre apoyarme en todo momento ya que siempre has estado presente cuando más te necesito te quiero mucho tía.

A mi compañero de vida *Adrián Monares*, eres una persona muy importante en mi vida, gracias por tu apoyo y ánimo que me brindaste día con día para alcanzar nuevas metas tanto profesionales como personales, pero gracias sobre todo por tu amor incondicional, te amo.

A mi querida amiga *Yalid Morales*, hoy culmina esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantas tardes y horas de trabajo nos juntamos a lo largo de nuestra formación. Hoy me toca cerrar un capítulo maravilloso en esta historia de vida y no puedo dejar de agradecerte por tu apoyo y constancia, al estar en las horas más difíciles, por compartir horas de estudio. Gracias por estar siempre allí y siempre estarás en mi corazón.

A mis amigos *Leonel Martínez* y *Cesar Tenería*, por permitirme aprender más de la vida a su lado. Esto es posible gracias a ustedes, les agradezco mucho y siempre los llevare en mi mente y en mi corazón.

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Lagunas costeras.....	4
3.2 Importancia de los sistemas lagunares costeros.....	4
3.3 Nutrientes en sistemas lagunares costeros.....	6
3.4 Dinámica de nutrientes en lagunas costeras .....	6
3.5 Importancia del fósforo .....	7
3.7 Propiedades orgánicas e inorgánicas del fósforo.....	9
3.8 Propiedades químicas del fósforo:.....	10
3.9 Impacto Ambiental .....	10
3.10 Parámetros físicos-químicos.....	11
3.10.1 Parámetros Físicos .....	11
• Temperatura.....	11
• Salinidad .....	12
• Visibilidad con el disco de Secchi.....	13
3.10.2 Parámetros Químicos.....	13
• pH.....	13
• Oxígeno disuelto (OD).....	14
4. JUSTIFICACIÓN.....	14
5. HIPÓTESIS .....	15
6. OBJETIVOS .....	15
6.1 General.....	15
6.2 Particulares.....	15
7. ÁREA DE ESTUDIO .....	16
7.1 Laguna Grande, Vega Alatorre, Veracruz.....	16
8. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
8.1 Trabajo de campo.....	18
8.2 Trabajo de laboratorio .....	19
8.2.1 Ortofosfato.....	19
8.2.2 Reactivos para el método de fosfomolibdato de amonio .....	19
8.3 Trabajo de gabinete.....	21
8.3.1 ANOVA (Análisis de Varianza).....	21

9. RESULTADOS.....	23
9.1 Concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto.....	23
9.2 Análisis estadístico de concentración de ortofosfato reactivo disuelto .....	29
9.3 Índice trófico del complejo lagunar Grande, Veracruz .....	53
9.4 Concentraciones de parámetros ambientales.....	53
9.4.1 Propiedades Físicas:.....	54
9.4.2 Propiedades Químicas: .....	56
9.5 Análisis estadístico de parámetros ambientales.....	63
9.5.1 Profundidad .....	63
9.5.2 Visibilidad.....	68
9.5.3 Temperatura ambiente .....	72
9.5.4 Temperatura del agua.....	77
9.5.5 Salinidad .....	82
9.5.6 Potencial de hidrogeno .....	88
9.5.7 Oxígeno disuelto.....	92
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	96
10.1 Ortofosfato reactivo disuelto .....	96
10.1.1 Concentración de Ortofosfato reactivo disuelto en temporada de Nortes .....	96
10.1.2 Concentración de Ortofosfato reactivo disuelto en temporada de Secas .....	98
10.1.3 Concentración de Ortofosfato reactivo disuelto en temporada de Lluvias ....	101
10.2 Estado Trófico del complejo lagunar Grande.....	103
10.3 Parámetros ambientales en el complejo lagunar Grande .....	105
11. CONCLUSIONES.....	109
12. LITERATURA CITADA.....	111

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ADN</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>ADP</b>	Adenosín difosfato
<b>ARN</b>	Ácido ribonucleico
<b>ATP</b>	Adenosín trifosfato
<b>LG</b>	Laguna Grande
<b>LC</b>	Laguna Chica
<b>Max.</b>	Máximo
<b>Min.</b>	Mínimo
<b>M<sub>e</sub></b>	Media
<b>OD</b>	Oxígeno disuelto
<b>[P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>]</b>	Concentración de fósforo en forma de ortofosfato
<b><math>\bar{X}</math></b>	Promedio

## 1. RESUMEN

Se presenta el análisis de la variación espacial y temporal de las concentraciones de ortofosfato en el sistema lagunar estuarino Grande, Veracruz, así como de las variables ambientales que influyen en su dinámica. Debido a su geomorfología el complejo lagunar Grande se dividió en tres subsistemas: el Estero, Laguna Grande (LG) y Laguna Chica (LC). Las colectas comprenden el periodo de febrero de 2018 a enero de 2019. Se recolectaron muestras de agua de superficie y fondo en 16 estaciones de muestreo. La cuantificación del ortofosfato se llevó a cabo por el método espectrofotométrico del fosfomolibdato. A lo largo de las temporadas, los valores mínimo y máximo de concentración del ortofosfato oscilaron entre 0.001-0.365  $\mu\text{g-at/L P-PO}_4^{3-}$  y se obtuvieron, particularmente las concentraciones mínima y máxima para cada subsistema: 0.006-0.365  $\mu\text{g-at/L P-PO}_4^{3-}$  en el subsistema Laguna Grande; 0.001-0.356  $\mu\text{g-at/Lt P-PO}_4^{3-}$  en el subsistema Laguna Chica, y 0.002-0.229  $\mu\text{g-at/L P-PO}_4^{3-}$  en el subsistema Estero, este último conecta al sistema lagunar con la zona nerítica marina. Las concentraciones mínima y máxima para cada temporada son las siguientes 0.001-0.095  $\mu\text{g-at/L P-PO}_4^{3-}$  en temporada de Nortes; 0.017-0.365  $\mu\text{g-at/L P-PO}_4^{3-}$  en temporada de Secas y de 0.029-0.260  $\mu\text{g-at/L P-PO}_4^{3-}$  en temporada de Lluvias. De acuerdo al índice trófico de la OCDE (1982) y Janus y Vollenweider (1981), en temporada de Nortes los valores de ortofosfato se encuentran en una clasificación de ultra-oligotrófico a meso-eutrófico, para la temporada de Secas y Lluvias alcanza un estado de eutrofia. Se analizaron parámetros ambientales físicos (profundidad, visibilidad, salinidad, temperatura ambiente y temperatura del agua) y químicos (pH y oxígeno disuelto) entre subsistemas (Estero, Laguna Grande y Laguna Chica), y entre temporadas (Nortes, Secas y Lluvias), entre subsistemas existe un comportamiento de similitud en visibilidad, temperatura ambiente, pH y oxígeno disuelto, y una disimilitud para los parámetros de profundidad, temperatura del agua y salinidad a lo largo del complejo lagunar; el análisis por temporadas (Nortes, Secas y Lluvias) existe una disimilitud en cada uno de los parámetros entre las tres épocas climáticas que se presentan a lo largo del ciclo anual.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras tropicales representan uno de los ecosistemas más productivos del planeta, su sobretasa de energía las convierte en recursos potenciales y a su vez, en áreas con hábitats ricos en nutrientes con variaciones temporales significativas (Botello, 1978; Flores *et al.*, 2007; Knoppers, 1994). De acuerdo a Contreras & Castañeda (2004), Debido a que estos ecosistemas reciben el aporte de aguas marinas y epicontinentales, representan ecotonos costeros salobres. Las aguas marinas penetran al ecosistema lagunar costero por medio de las mareas. Las descargas dulceacuícolas aportan importantes cantidades de detritos orgánicos y sales minerales básicas, entre las que destacan el fósforo y el nitrógeno, que intervienen de manera decisiva en la producción primaria y el mantenimiento de la salud del ecosistema lagunar costero (Contreras & Castañeda, 2002). Su carencia o exceso producen consecuencias severas en la biota acuática. La escasez de fósforo se asocia con los ambientes acuáticos oligotróficos característicos por una producción primaria mínima. En el otro extremo, se encuentran los ambientes acuáticos distróficos o hipereutróficos, donde la generación continua y masiva de biomasa, principalmente fitopláctica, auspicia serios problemas en los flujos energéticos (Vollenweider *et al.*, 1992).

Naturalmente, la evolución del estado trófico del ecosistema lagunar costero depende de la existencia y disponibilidad de nutrientes limitantes como el fósforo y el nitrógeno. El proceso de eutrofización natural de la laguna costera depende de factores como su ubicación geográfica, la carga de nutrientes que recibe, así como de la dinámica hidrológica, espacial y temporal, temperatura del agua, pH, turbidez, intensidad y fuerza de las mareas, la profundidad, la salinidad, entre otros (Ribera, 2002; Carlson & Simpson, 1996).

A diferencia del nitrógeno, que presenta diversas formas en el ecosistema lagunar costero, la única forma inorgánica significativamente importante del fósforo es el ortofosfato ( $P-PO_4^{3-}$ ). Una proporción importante, más del 90 %, del fósforo del agua se encuentra en forma de fosfatos orgánicos y como constituyentes celulares de la materia viva particulada del seston, o asociado a diversas formas, o adsorbido a partículas orgánicas muertas y materiales

inorgánicos del tripton. Para el análisis cuantitativo del fósforo inorgánico disuelto, el fósforo orgánico e inorgánico se ha dividido de diversas fracciones que se encuentran relacionadas escasamente con el metabolismo del fósforo. La cantidad más importante, desde el punto de vista del metabolismo del sistema lagunar costero, es el contenido total de fósforo en las aguas no filtradas, que consiste en el fósforo en suspensión de la materia particulada y el fósforo en forma disuelta, ambas formas están constituidas por diversos componentes. El fósforo particulado incluye: i) al fósforo en los organismos en forma de ácidos nucleicos, relativamente estables (ADN y RNA), que no están implicados en un ciclo rápido del fósforo, y fosfoproteínas; ii) a los ésteres de bajo peso molecular de enzimas, vitaminas, entre otros, y iii) fosfatos de nucleótidos como el ADP y el ATP en la respiración y asimilación del dióxido de carbono. Las fases minerales de rocas y suelos, tales como la hidroxiapatita, se encuentran mezcladas y en ellas el fósforo se encuentra adsorbido a complejos inorgánicos, como arcillas, carbonatos e hidróxidos férricos, o bien adsorbido a materia orgánica particulada muerta o en agregaciones macroorgánicas. En contraste con el fósforo de la materia particulada, el fósforo inorgánico disuelto está compuesto de ortofosfato ( $P-PO_4^{3-}$ ), polifosfatos procedentes principalmente de detergentes sintéticos, y coloides orgánicos o bien de fósforo combinado con coloides adsorbentes.

Por la importancia del fósforo como nutriente y constituyente celular se hace hincapié en la evaluación de la variación en tiempo y espacio de sus concentraciones en el ecosistema lagunar costero Grande. La dinámica hidrológica y la variación del fósforo inorgánico en este ecosistema estuarino son influenciadas principalmente por las temporadas climáticas de nortes, secas y lluvias que se suceden a lo largo del año en esta región tropical costera.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Lagunas costeras**

El litoral mexicano abarca 11 600 km<sup>2</sup> y se caracteriza por su variedad de ecosistemas costeros, entre los que destaca la existencia de 125 a 130 lagunas estuarinas que comprenden un total de 15 000 km<sup>2</sup> aprox. En el litoral veracruzano, los cuerpos lagunares cubren un área de 1 166 km<sup>2</sup> (7.4% del total nacional). Entre las lagunas más importantes en el estado se encuentran Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, Laguna Grande, San Agustín, Salada, Verde, El Llano, El Farallón, La Mancha, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión (Lara *et al.*, 2011).

En cuanto al flujo de materia y energía, las lagunas costeras representan uno de los ecosistemas más altamente dinámicos y complejos. Son definidos por su geomorfología como cuerpos acuáticos semicerrados y someros, situados por debajo del promedio mayor de la marea más alta y separado por algún tipo de barrera permanente o efímeramente del mar. En estas depresiones someras se lleva a cabo el encuentro de las aguas marinas y dulceacuícolas, dando como resultado la formación de un gradiente de agua salobre con características físicas, químicas y biológicas propias (Lankford, 1977). Desde el punto de vista hidrodinámico, por la influencia de la marea, estos ecosistemas son reconocidos como estuarios. La marea alta introduce al sistema lagunar agua marina que se diluye con los aportes, al sistema, de agua dulce proveniente de la descarga de los ríos y arroyos. Acompañando el aporte de agua dulce, una considerable cantidad de materiales parentales disueltos y particulados de origen sedimentario y orgánico son descargados al estuario, al grado de considerar la productividad primaria de las lagunas costeras mayor que aquella de las selvas tropicales. En condiciones de marea baja, el agua salobre abandona el estuario acarreado gran cantidad de nutrientes encargados de fertilizar y aumentan la productividad de las aguas neríticas marinas aledañas al estuario (Contreras, 1993).

#### **3.2 Importancia de los sistemas lagunares costeros**

Las lagunas costeras generalmente se encuentran entre los ecosistemas con elevada productividad primaria e importancia ecológica, donde la energía

disponible es mayor en comparación con la de otros sistemas acuáticos. A su vez, forman parte de importantes procesos biogeoquímicos como el reciclaje de nutrientes, descomposición de materia orgánica e incluso la remoción de contaminantes (Barbier *et al.*, 2011; Piehler & Smith, 2011). Debido a sus diferencias en ubicación geográfica (tropical, templada, templado cálida y fría), morfología, sedimentos, profundidad y dinámica mareal, estos ecosistemas muestran capacidades diferenciales en cuanto a la transformación de los nutrientes introducidos por el acarreo de materiales parentales provenientes de las descargas epicontinentales (Dettmann, 2001; Smith *et al.*, 2003). En cuanto al mantenimiento de la biodiversidad, en ellas se llevan a cabo procesos de reproducción, alimentación y crecimiento de una gran variedad faunística de vertebrados e invertebrados tanto acuáticos como terrestres (Yañez *et al.*, 2005). Además, funcionan como zonas de amortiguamiento contra inundaciones y refugios de fauna regional y migratoria (Flores *et al.*, 1992).

En las lagunas costeras tropicales se asientan comunidades de al menos cuatro especies diferentes mangle rojo (*Rizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). Los manglares se encuentran adaptados a condiciones mixohalinas y a sustratos de sedimentos ricos en materia orgánica y relativamente pobres en oxígeno disuelto (Flores, 2007), y sus raíces actúan como filtro retensor de sedimentos terrígenos e impidiendo su paso hacia la plataforma continental (Contreras, 1993).

En los sistemas lagunar costero tropicales, la pesca artesanal representa una de las fuentes importantes de ingresos para los pescadores de la zona, quienes aprovechan especies de peces marinos como las mojarras (Gerreidae), barracudas (Sphyraenidae), pargos (Lutjanidae), robalos (Centropomidae), e invertebrados como el camarón, ostión, cangrejo de mano grande y jaibas (*Callinectes* sp.) entre otras. Complementado con la recreación y la pesca deportiva que son aprovechada por el turismo local y foráneo (Caballero *et al.* 2005).

### **3.3 Nutrientes en sistemas lagunares costeros**

Es indudable que el aporte de nutrientes provenientes de las descargas epicontinentales, juegan un papel primordial en la productividad primaria del ecosistema lagunar costero, y por lo tanto, representa la base fundamental del flujo de materia y energía en la trama trófica de la comunidad de los ecosistemas acuáticos (Vollenweider *et al.*, 1992; Nixon, 1981). Fuentes nutrimentales complementarias en estos ecosistemas estuarinos son, la lluvia con su aporte de nitrógeno, los procesos biogeoquímicos involucrados en la interface sedimento-agua, por medio de la acción bacteriana y el consecuente reciclamiento y re-suspensión de nutrimentos, entre los que destacan el fósforo y el nitrógeno, y el aporte continuo de compuestos de diversos tipos provenientes de la vegetación sumergida y aledaña (De la Lanza & Arenas, 1978).

### **3.4 Dinámica de nutrientes en lagunas costeras**

Los ecosistemas lagunar costeros se encuentran sujetos a mecanismos de retroalimentación encargados de mantener la dinámica nutrimental. Parte de la biomasa que en él se produce, así como los nutrientes inorgánicos derivados de los procesos de remineralización de la materia orgánica tanto en la columna de agua y como en los sedimentos del fondo, son exportados a la zona nerítica marina adyacente (Cloern, 2001). Los procesos biogeoquímicos que se llevan a cabo en las lagunas costeras son extremadamente complejos debido a su interacción con los sedimentos, los cuales actúan como fuentes importantes de nitrógeno y fósforo inorgánico que pueden ser reintegrados a la columna de agua y otra parte fijados a los sedimentos (Fourqurean *et al.* 1993). La interface sedimento-agua funciona como un regulador de la concentración del fósforo ya que tiene la capacidad de adsorberlo y/o liberarlo, limitando así su disponibilidad para el fitoplancton (Froelich, 1988; Vidal 1994). La re-suspensión y redistribución horizontal y vertical de las partículas sedimentarias en la columna de agua dependen en gran parte de hidrodinámica mareal, así como de la intensidad, dirección y fuerza de los vientos.

### 3.5 Importancia del fósforo

El interés ecológico del fósforo proviene principalmente del papel que juega como limitante en el metabolismo del primer eslabón de la cadena trófica. Mismo que está conformado por el fitoplancton, macrófitos como los manglares y los pastos marinos (Oliva *et al.*, 2014; Fourqurean *et al.*, 1993; Vidal, 1994). Generalmente estos ecosistemas acuáticos son ricos en nutrientes disueltos y particulados, que al encontrarse en suspensión producen alta turbidez en la columna de agua, en consecuencia, algunos factores físicos como la disponibilidad de luz y profundidad de la cuenca, pueden ser importantes en el control de la productividad, ya que al parecer existe una relación con la biomasa y productividad fitopláncica en función de estos factores (Cole & Cloern, 1987). Un segundo aporte del ecosistema lagunar costero, es la producción de materia orgánica producida por la cadena del detrito, donde a nivel de los sedimentos y en la columna de agua, las bacterias juegan un papel primordial al liberar fósforo inorgánico como subproducto de su metabolismo, y a su vez sintetizar materia orgánica para su propio mantenimiento celular, el cual queda disponible el siguiente nivel trófico conformado por los habitantes neríticos y bentónicos que dependen de los sedimentos.

Una particularidad del ciclo biogeoquímico del fósforo es su ausencia en la atmósfera, por lo que, el ciclo inicia con la erosión de las rocas de la superficie de la corteza terrestre. Los tipos de rocas en que el fósforo se encuentra adsorbido son en los fosfatos de calcio, ejemplo de estos son la oxiapatita  $\text{Ca}_{10}\text{O}(\text{PO}_4)_6$  y la apatita carbonatada  $\text{Ca}_{10}\text{CO}_3(\text{PO}_4)_6$ , y los fosfatos de aluminio y de hierro, como la variscita  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y la estrengita  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , respectivamente (Morgan, 1997). Por lo que, el fósforo inorgánico (ortofosfato) proviene principalmente de la intemperización de las rocas y lixiviación de los suelos terrestres aledaños y adicionalmente, por efectos antrópicos, en forma de desechos orgánicos y fertilizantes derivados de las descargas industriales y domésticas. Como ya ha sido citado en párrafos anteriores, dentro de los desechos se encuentran los polifosfatos que forman parte de los detergentes y que por actividad hidrolítica bacteriana liberan fósforo como ortofosfatos. También, compuestos orgánicos e inorgánicos fosforados pueden presentarse en altas concentraciones en aguas de las lagunas costeras como una consecuencia

de la descomposición de la materia orgánica y productos de excreción de los organismos acuáticos (De la Lanza, 2014).

### **3.6 Ciclo del fósforo**

En los ambientes acuáticos han sido señalados tres ciclos correspondientes a la dinámica del fósforo. En el primero, donde las células fitopláncticas incorpora en su metabolismo el fósforo disuelto y al sedimentar pasan a formar parte final del denominado biodetritus en las capas sedimentarias donde, la autólisis y la actividad bacteriana remineralizan el fósforo orgánico a ortofosfato, devolviendo una parte de éste a la columna de agua y la otra se pierde al quedar fijada en los sedimentos. El segundo ciclo, ocurre completamente en la capa eufótica, donde el zooplancton consume al fitoplancton y remineraliza con la ayuda de bacterias intestinales los compuestos fosfatados a ortofostato devolviéndolo al medio acuático. El tercer ciclo, es un estado estacionario donde se mantiene el fósforo contenido en bacterias, fitoplancton, zooplancton, invertebrados y vertebrados (Taft *et al.*, 1975). Los ciclos biogeoquímicos que involucran al fósforo comprenden reacciones de óxido-reducción con la producción de compuestos orgánicos a través de los procesos fotosintéticos y quimiosintéticos y liberación del fósforo por medio de la hidrólisis de dichos compuestos orgánicos.

La fase de adsorción del fósforo, es el proceso en el cual los fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se unen por sus cargas iónicas a la superficie de las partículas del suelo; la desorción es el proceso físico inverso donde el fosfato absorbido es liberado al agua. La fase de asimilación consiste en la captura de  $\text{PO}_4^{3-}$  por parte del fitoplancton convirtiéndolo a fósforo orgánico. La mineralización es la liberación de fosfatos de compuestos orgánicos por hidrólisis microbiana. Finalmente, durante la sedimentación y resuspensión del fósforo orgánico y particulado que se encuentra en los sedimentos del fondo se pierde al ser enterrado por los sedimentos. Si por alguna razón los sedimentos son removidos los fosfatos pueden regresar al agua disolviéndose y quedando de nuevo biodisponibles. La mayor parte del fósforo que ingresa a una cuenca se almacena en las partículas minerales del suelo (Paytan & McLaughlin, 2007).

### 3.7 Propiedades orgánicas e inorgánicas del fósforo

El fósforo es considerado como el factor más crítico y complejo en los ciclos biogeoquímicos, al formar parte de compuestos vitales ya que este elemento es vital para todos los seres vivos al formar parte de moléculas tan importantes como el ADN y ARN que son las moléculas que almacenan la información genética de todos los organismos, también lo podemos encontrar como fosfolípidos formando parte de los componentes principales de la membranas celulares presente en todos los organismo y también hace parte del ADP y ATP que es la molécula que utilizan los seres vivos como moneda energética para todas las funciones metabólicas que realizan. Considerado como nutriente se encuentra tanto disuelto como particulado sea orgánico o inorgánico.

La principal fuente de entrada de ortofosfatos al ecosistema lagunar costero se debe a los escurrimientos terrestres que generalmente transportan material rocoso intemperizado o lixiviado (De la Lanza, 2014). Adicionalmente ingresa al sistema fósforo generado por las descargas industriales, los fertilizantes y los desechos orgánicos domésticos, así como productos de excreción de organismos acuáticos, lo podemos encontrar como: ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ); polifosfatos (originados de detergentes sintéticos); coloides orgánicos o fosfatos combinado con coloides adsorbentes. El fósforo inorgánico se presenta en el agua exclusivamente en forma de fosfatos (compuestos que contienen P- $\text{PO}_4^{3-}$ ) (AWWA, 1989). En un medio acuático, dichos compuestos se encuentran en tres formas: ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), considerados como la única forma asimilable y fácil de medir; polifosfatos (principalmente hexametafosfatos  $\text{Na}^+(\text{PO}_4)_6$  y tripolifosfatos  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) que no son asimilables directamente; y organofosfatos que son complejos asociados a la materia orgánica y que tampoco son asimilables directamente. En aguas superficiales cuando el pH se encuentra entre 5 y 8, el fósforo se encuentra en formas oxidadas ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) y tienden hacia la forma más estable, es decir en la forma de ortofosfato (Rodier *et al.*, 1996).

### 3.8 Propiedades químicas del fósforo:

Símbolo	P
Peso atómico	30.9738
Numero atómico	15
Grupo	(VA)
Valencia	5
Estado de oxidación	±3, 4, 5
Electronegatividad	2.19
Radio covalente(Å)	1.06
Radio iónico (Å)	P <sup>-3</sup> = 2,12. P <sup>+3</sup> = 0,44. P <sup>+5</sup> = 0,34
Radio atómico (Å)	1.28
Primer potencial de ionización (kJ/mol)	1011.8
Densidad del sólido (gr/ml)	1.812
Punto de fusión (°C)	44.1
Punto de ebullición (°C)	277
Color del solido	Blanco
Formula del hidruro	PH <sub>3</sub>
Estabilidad del hidruro	Estable en ausencia de aire
Descubridor	Hennig Brandt en 1669

CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA: P [Ne] 3s<sup>2</sup> 3P<sup>3</sup>

NÚMERO DE ELECTRONES EN CADA NIVEL DE ENERGÍA:

Elemento	Número de electrones en cada nivel de energía					
	K	L	M	N	O	P
Fósforo	2	8	5			

### 3.9 Impacto Ambiental

Uno de los problemas más graves que hoy en día amenaza, deteriora y reduce la salud de las lagunas costeras es el proceso de eutrofización antrópica, que se refiere al proceso por el cual cambia el estatus nutrimental de un cuerpo de agua por efecto de la afluencia de nutrientes y en particular el nitrógeno y el fósforo, cuya presencia en altas concentraciones son causantes de un efecto perjudicial en la calidad del agua y el ciclo interno de los nutrientes. Haciéndose necesaria la regulación y control del excedente nutrimental alóctono para la reducir dicho proceso (Richardson & Jørgensen, 1999). Las actividades antropogénicas son la causa principal de la perturbación de los ecosistemas acuáticos costeros. Dichas actividades han sido clasificadas en fuentes puntuales y fuentes difusas. La primera incluye plantas de tratamiento urbanas y los vertidos industriales y las fuentes difusas incluyen la escorrentía agrícola de fertilizantes y de desechos animales (Carpenter *et al.*, 1998).

El proceso de eutrofización natural de los ecosistemas estuarinos depende, espacial y temporal, de la hidrodinámica del sistema acuático, los flujos del sistema (en especial las entradas y salidas), los efectos de las mareas, las corrientes y el viento, entre otros. La aportación de nutrientes a través de las fuentes mencionadas provoca un incremento en la producción primaria. Los ambientes acuáticos que son afectados por procesos de eutrofización acelerada por efectos del impacto ambiental, conllevan una serie de procesos concatenados que inicialmente alteran la diversidad biológica, al provocar una proliferación de fitoplancton en exceso que, al morir y ser depositado naturalmente en los sedimentos genera residuos orgánicos cuyo proceso de descomposición consume grandes cantidades de oxígeno disuelto, afectando así la vida acuática y produciendo la muerte por asfixia de la flora y fauna, hasta el punto de poder llegar alterar completamente el cuerpo acuático (Thomann & Muller, 1987).

### **3.10 Parámetros físicos-químicos**

Entre los parámetros físicos-químicos ambientales considerados en la evaluación del ecosistema acuático se encuentran: la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto, ya que éstos ayudan a detallar la variabilidad del sistema acuático al relacionar sus interacciones con otros componentes del medio. En el caso de las lagunas costeras, los valores de estas variables son espacial y temporalmente heterogéneos al estar, a su vez, afectados por la influencia de factores como la poca profundidad de la columna de agua, la tasa de evaporación, el régimen de lluvias, la morfología y el perímetro de la laguna, los flujos de agua (permanentes o intermitentes), sea dulce o marina y su patrón hidrodinámico, es decir, el movimiento de agua interior y la magnitud de su intercambio con el océano.

#### **3.10.1 Parámetros Físicos**

- **Temperatura**

Uno de los factores importantes a evaluar en un ecosistema acuático es la temperatura de la columna de agua. Su variación se relaciona con los procesos de pérdida y ganancia de energía; al estar influenciada por las condiciones ambientales de la zona y la incidencia de la luz solar. La energía luminosa es absorbida exponencialmente en relación a la profundidad y la mayor parte del

calor es retenido o absorbido en la capa superior del sistema (Torres y García, 1995). La temperatura es determinante en la regulación de los procesos vitales en los organismos vivos, así como las propiedades químicas y físicas de diversos factores abióticos en un ecosistema. Cuanto menor es la profundidad de la columna de agua, mayor es su influencia, afectando la estructura y función de las comunidades bióticas. Además, este parámetro influye en la solubilidad del oxígeno disuelto, la disponibilidad de los nutrientes y la tasa de descomposición de la materia orgánica (Gallagher, 1999; González, 2006).

La temperatura del agua en conjunto con la energía radiante, son dos de los factores determinantes del proceso fotosintético. Ambos, a su vez, dependen de factores geográficos como la latitud y la regionalización de la cual forma parte el ecosistema lagunar costero. Estos factores en conjunto influyen principalmente en los procesos de circulación, renovación o confinamiento de las masas de agua, de advección, así como de las mareas y consecuentemente en las dinámicas física, química y metabólica del ecosistema, así como en el metabolismo y la fisiología de los organismos que le habitan (De la Lanza, 1990; Reid & Wood, 1976; Arredondo & Ponce, 1998).

- **Salinidad**

La salinidad se refiere al contenido total de sales en un volumen o peso de agua, manteniendo un valor casi constante en las aguas marinas. La salinidad se define como el total del material sólido contenido en un kilogramo de agua de mar cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxido, los bromuros y yoduros son reemplazados por cloro y todas las sustancias orgánicas aisladas (APHA, 1998). El principal componente de la salinidad es el cloruro de sodio, cuya concentración (clorinidad) puede aproximarse a la salinidad mediante la ecuación:

$$\text{Clorinidad} = \frac{\text{Salinidad}}{1.80655}$$

En los ecosistemas acuáticos costeros y continentales, los procesos de concentración o dilución de la salinidad dependen de factores como la temperatura del agua, la precipitación pluvial, y los flujos de las aguas continentales y marinas. El aumento de la concentración salina puede adjudicarse al incremento de tasa de evaporación del agua debido al incremento

de su temperatura. Mientras que la dilución y con ello la disminución de la salinidad, puede estar relacionado con la precipitación pluvial y el aporte de agua dulce proveniente de ríos, arroyos y escorrentías.

- **Visibilidad con el disco de Secchi**

El disco de Secchi mide el grado de transparencia presente en la columna de agua, es decir mide la profundidad, a partir de la superficie, hasta la cual se puede visualizar un objeto. Mientras que la turbidez mide la cantidad de los materiales disueltos y en suspensión, entre los que se considera principalmente a la materia orgánica e inorgánica, arcillas limos, sales minerales y plancton (Wetzel & Likens, 1991; Contreras, 1994; Arredondo & Ponce, 1998; Blancas, 2007). Por lo que, el grado de turbidez presente en la columna de agua, es un factor crítico para la penetración de la radiación solar y la transparencia de la columna de agua (Reid & Wood, 1976; Arocena & Conde, 1999).

La limitación de la penetración de la energía radiante por efecto de la turbidez en ambientes ricos en nutrientes es uno de los factores que más se cita como un mecanismo regulador de la producción fitopláctica (Cloern, 1996; Santamaría del Ángel *et al.*, 1996; Gameiro *et al.*, 2004). La resuspensión de los sedimentos por la marea y los aportes de éstos por los ríos son factores importantes que modifican la turbidez y, por lo tanto, la profundidad de la zona fótica en la columna de agua.

### **3.10.2 Parámetros Químicos**

- **pH**

El pH del agua es uno de los factores que afecta la distribución y diversidad de los organismos, así como la naturaleza de muchas de las reacciones químicas que ocurren en los diversos ambientes acuáticos. Está definido como una medida logarítmica de la concentración de los iones hidronio presentes en una solución y se representa por el algoritmo  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ . En los ecosistemas acuáticos los valores altos y bajos de pH generalmente son tóxicos para los organismos (Arredondo, 1986; Swingle, 1969; Arredondo, 1986; Arredondo & Ponce, 1998).

La naturaleza y dinámica química de fósforo está determinada, en gran medida, por las concentraciones de pH. En condiciones circumneutrales y moderadamente alcalinas, es probable que el fósforo prevalezca en forma de fosfato de calcio y, en pH extremadamente altos se encuentre asociado con sodio en la forma de fosfato de sodio. Finalmente, en pH ácido la atracción del fosfato se inclina hacia el hierro formando fosfato férrico (Reid & Wood, 1976). Los sedimentos del ecosistema lagunar costero juegan un papel crucial en cuanto a la dinámica química y biológica al funcionar como donante o como sumidero del fósforo en el ecosistema acuático.

- **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto (OD) interviene en diversas funciones metabólicas que se llevan a cabo en los sedimentos y la columna de agua del ecosistema lagunar costero, entre las que destacan, la respiración de los organismos, la oxidación de la materia orgánica (García, 1998). La columna de agua, a su vez, obtiene oxígeno como subproducto de la fotosíntesis fitopláncctica y de los macrófitos acuáticos, así como muchas de las reacciones de óxido-reducción fundamentales para mantener la salud del ecosistema (Reid y Wood, 1976; Arocena & Conde, 1999; Wetzel, 2001). Ingresa al sistema por medio de múltiples procesos físicos, como el recambio en forma de equilibrio gaseoso entre la superficie del cuerpo acuático y la atmosfera, y como resultado del movimiento viento sobre las capas superficiales de la columna de agua. En la dinámica del OD en la laguna costera intervienen, la morfología del cuerpo acuático, las corrientes creadas por las diferencias de densidad y las mareas, el viento, así como la entrada de agua dulce con altos contenidos de materia orgánica (De la Lanza, 2014).

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Debido principalmente a la disponibilidad de nutrientes aportado por los ríos y escurrimientos terrestres y al reciclamiento de éstos durante los procesos de remineralización microbiana, las lagunas costeras se encuentra entre los principales ecosistemas más productivos en el mundo. Sin embargo, pocos son los trabajos de estos ecosistemas, dedicados al seguimiento temporal en cuanto a las variaciones en el comportamiento de los nutrientes, como, en este caso

particular de estudio, del ortofosfato. Generalmente se encuentra registros de las concentraciones de nutrientes referidos a un tiempo y espacio particular, pero no a un seguimiento espacio-temporal referido a ciclos anuales. Por ello, en el presente trabajo se presenta la dinámica de las concentraciones del ortofosfato a lo largo del ciclo anual y con ello, determinar el estado trófico en que se encuentra.

## **5. HIPÓTESIS**

Se considera existe un comportamiento diferencial del fósforo inorgánico entre subsistemas (Estero, Laguna Grande (LG) y Laguna Chica (LC)) y en entre temporadas (Nortes, Secas y Lluvias). ¿Se considera que el complejo lagunar Grande a lo largo del ciclo anual se encuentre en un índice trófico mesoeutrófico?.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 General**

Caracterizar la variabilidad espacial (estaciones y subsistemas) y temporal (meses y épocas climática) de los niveles de fósforo inorgánico, del sistema lagunar Grande, para conocer la condición trófica del sistema.

### **6.2 Particulares**

Analizar el grado de asociación del fósforo inorgánico entre los subsistemas del sistema lagunar Grande (Estero, LG y LC).

Analizar la similitud o disimilitud del fósforo inorgánico del sistema lagunar Grande entre las temporadas (Nortes, Secas y Lluvias).

Determinar la condición trófica del sistema lagunar Grande a lo largo del ciclo anual.

Determinar la variación espacial y estacional de los parámetros físicos (temperatura, salinidad, profundidad, visibilidad) y químicos (pH, oxígeno disuelto) a lo largo de las temporadas climáticas del año, en el complejo lagunar costero.

## 7. ÁREA DE ESTUDIO

### 7.1 Laguna Grande, Vega Alatorre, Veracruz

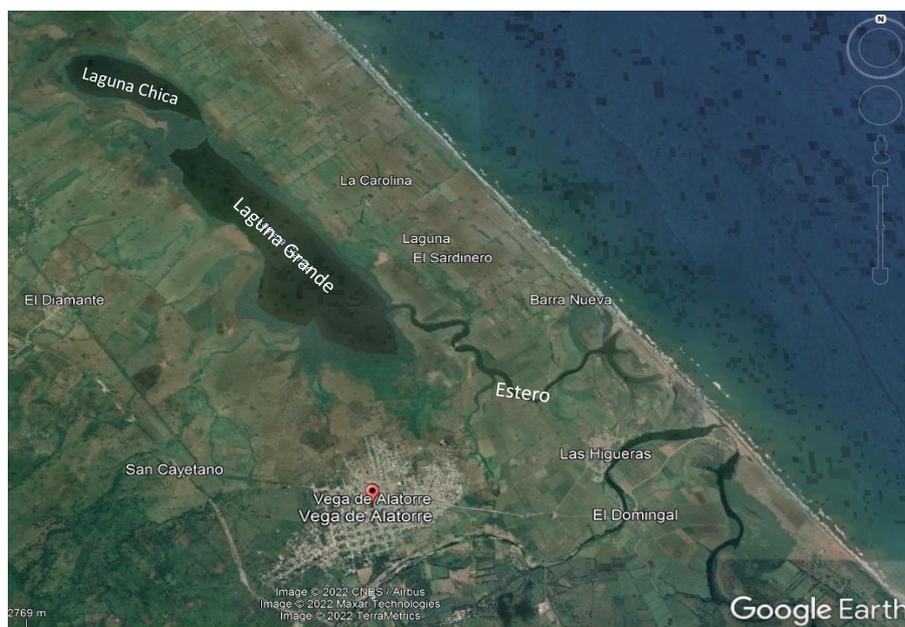
El litoral de Veracruz, México, incluye al menos 18 lagunas costeras que cubren un área de 1,166km<sup>2</sup>. La ubicación geográfica del área de estudio, está referida al complejo lagunar Grande, localizado en la parte occidental del Golfo de México, entre los límites municipales de Nautla y Vega de Alatorre, Veracruz, (20.0647°-20°3'52.8" Lat. N y 96.6624°-96°39' 44.5" Long. W) (Aguirre, 2013). Está conformado por tres subsistemas: Laguna Chica (LC) y Laguna Grande (LG), que cubren una superficie total de 22.5km<sup>2</sup>, y La Barra con una longitud de 300m de anchura (variando según la época del año) y 3.5km de longitud. Laguna Chica se ubican en la parte norte del complejo lagunar y comprende una longitud de 3km y ancho de 0.8km. Mientras que Laguna Grande cuenta con 4.7km de longitud y 1.5km de ancho. Ambos subsistemas están comunicados por un canal estrecho llamado El Caño, El subsistema Estero, se localiza al sureste de ambas lagunas y conecta la zona nerítica con el subsistema LG (Figura 1). En general el complejo lagunar presenta una profundidad media de 0.9m y amplitud de marea de 0.4 a 0.6m. Las aportaciones de aguas continentales se obtienen por los aportes de ríos de poco caudal. En el subsistema LG por los arroyos, "El Diamante", "El Carey" y "El Salado", y en el subsistema LC por "El Huanal".

Anteriormente el complejo mantenía una importante aportación de parte del río Colipa, que desembocaba en La Barra. Sin embargo, desde el año 1992 el huracán "Gertz" modificó las características físicas del complejo, con lo cual actualmente el río Colipa desemboca directamente al Golfo de México, perdiendo así la aportación de agua epicontinental más importante del complejo. En la actualidad la abertura de La Barra se lleva a cabo de manera artificial y se realiza según la conveniencia de las cooperativas pesqueras.

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 2004). Se reconocen tres épocas climáticas: secas (marzo a junio), lluvias (julio a octubre) y nortes (noviembre a febrero) (Utrera & Moreno, 2008).

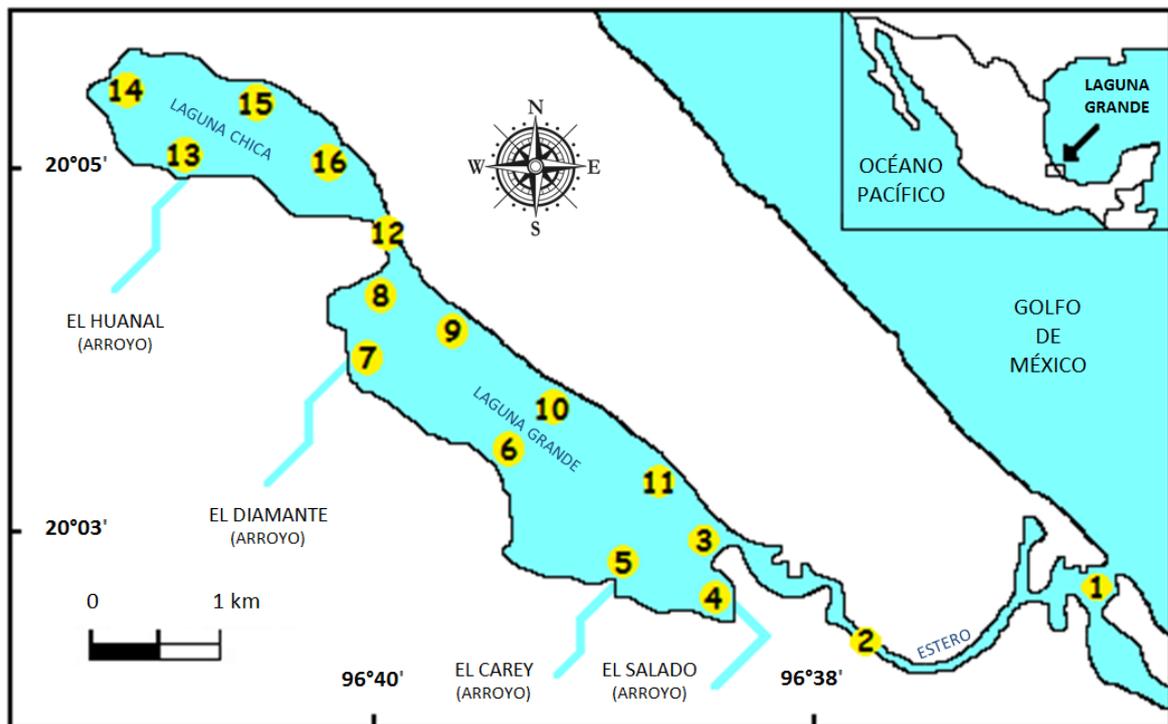
Existen diferentes ambientes acuáticos en el sistema como vegetación circundante de manglar en áreas salobres y de baja salinidad, vegetación

emergente y sumergida, bancos de macroalgas rojas (*Gracillaria* sp.) en el sur de la laguna, así como áreas de alta sedimentación (Moreno et al., 2010; Lara et al., 2011a). La vegetación en los alrededores de la laguna y sus afluentes es de tipo manglar; la comunidad de manglar dominante está representada por las especies *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del complejo lagunar Grande, Veracruz, México. Obtenido de Google Earth-2022.

Las unidades de muestreo están representadas por 16 estaciones establecidas a lo largo del complejo lagunar, para la selección de cada sitio se consideró los tipos de suelo como áreas de conchal, arenosas, fangosas de vegetación (manglar y vegetación sumergida), también se consideró la ubicación de entrada de aguas continentales por aporte de arroyos como (El Diamante, El Carey y el Huanal), y zona de descarga urbana (El Salado) también estaciones como la entrada de agua marina y la mezcla de estas aguas al interior de dichos sistemas (La Barra y Entre la Barra y el Vado). Las 16 estaciones establecidas divididas en los respectivos subsistemas lagunares son, **a) Subsistema el Estero:** 1)La Barra, 2)Entre la Barra y el Vado; **b) Subsistema Laguna Grande:** 3)La Puerta, 4)El Salado, 5)El Carey, 6)Punta Brava, 7)El Diamante, 8)Fondo de Laguna Grande, 9)Frente al Diamante, 10)Frente a Punta Brava, 11)Salida de la Puerta; **c) Subsistema Laguna Chica:** 12.A mitad del Caño, 13.El Huanal, 14.Fondo de Laguna Chica, 15.Puerto Arturo, 16.Salida de Laguna Chica (Figura 2).



**Figura 2.** Estaciones de muestreo: **Subsistema Estero:** 1. La Barra, 2. Entre la Barra y el Vado. **Subsistema Laguna Grande:** 3. La Puerta, 4. El Salado, 5. El Carey, 6. Punta Brava, 7. El Diamante, 8. Fondo de Laguna Grande, 9. Frente al Diamante, 10. Frente a Punta Brava, 11. Salida de la Puerta. **Subsistema Laguna Chica:** 12. A mitad del Caño, 13. El Huanal, 14. Fondo de Laguna Chica, 15. Puerto Arturo, 16. Salida de Laguna Chica.

## 8. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1 Trabajo de campo

Las muestras de agua se recolectaron en la columna de agua a nivel de superficie (0.30 m) y fondo (0.10 m de distancia de los sedimentos). Se llevó a cabo un total de cinco muestreos que comprenden de febrero de 2018 a enero de 2019. Dada la morfometría del sistema lagunar Grande, Veracruz, México se dividió al complejo lagunar en tres subsistemas: El Estero, Laguna Grande (LG) y Laguna Chica (LC), El periodo de muestreo comprende las temporadas de nortes (enero y febrero), secas (abril y junio), y lluvias (septiembre).

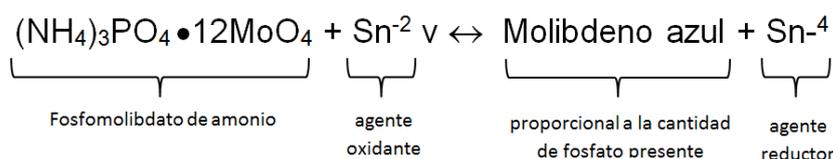
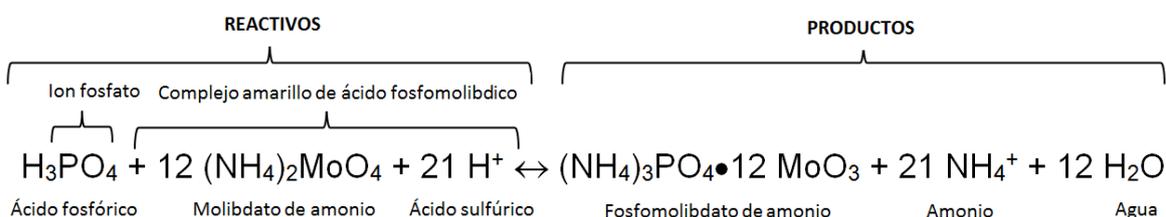
Los muestreos se realizaron utilizando una lancha de fibra de vidrio de 5 metros de eslora con motor fuera de borda de 25 Hp. En cada estación, con la ayuda de una botella muestreadora Van Dorn con capacidad de 3 litros, se recolectaron las muestras de agua. Mismas que se almacenaron en botellas de plástico con capacidad de un litro y se conservaron a temperatura de 4°C para su

posteriormente análisis en laboratorio. En campo se registraron *in situ* los siguientes parámetros físicos: temperatura ambiente y temperatura de agua con un termómetro de mercurio de -20/150 °C, salinidad con un refractómetro marca VEE GEE STX-3 Salinity 0-100‰, visibilidad con un Disco de Secchi de 30 cm de diámetro (Margalef, 1983). Los parámetros químicos registrados son, pH con la ayuda del multiparámetro CONDUCTRONIC Modelo PC18, oxígeno por medio del equipo HANNA Medidor Oxígeno Disuelto portátil (OD/Temp) con sonda polarográfica HI9142, y la profundidad se determinó utilizando una plomada y cinta métrica.

## 8.2 Trabajo de laboratorio

### 8.2.1 Ortofosfato

Para obtener el fósforo reactivo soluble, las de muestras de agua, se sometieron a centrifugado (Centrífuga Clay Adams modelo Dynac) a 4000 revoluciones durante 5 minutos, para posteriormente ser filtradas y de esta manera mantener en el sobrenadante el fósforo inorgánico soluble ( $P-PO_4^{3-}$ ). Para la cuantificación del ortofosfato se utilizó el método colorimétrico de cloruro estanoso (APHA, 1992), cuyo fundamento es el siguiente:



Cloruro estanoso  $\rightarrow$  agente reductor  $\rightarrow$  este se reduce a azul de molibdeno

### 8.2.2 Reactivos para el método de fosfomolibdato de amonio

La preparación de los reactivos se cita a continuación:

-Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.02 N: Pesar 0.2 g hidróxido de sodio y aforar a 250 ml agua destilada.

-Solución indicadora de fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>): Disolver 1 g de fenolftaleína en 100 ml de alcohol etílico o isopropílico al 95% y adicionar 100 ml de agua destilada. En caso necesario adicionar gota a gota una solución de NaOH 0.02 N hasta que aparezca un color rosa tenue.

-Solución de molibdato de amonio (I) (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> • 4H<sub>2</sub>O: Disolver 12.5 g de molibdato de amonio (I) en 87.5 ml de agua destilada; Añádase con cuidado 140 ml ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado a 200 ml de agua destilada. Deje enfriar. Una vez fría la solución añádase a la solución de molibdato de amonio (I), diluyendo la muestra a 500 ml.

-Solución de ácido fuerte: Se vierten lentamente 75 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado a 150 ml de agua destilada. Cuando se enfríe, añádase 1 ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado y dilúyase a 250 ml de agua destilada.

-Reactivo de cloruro estanoso (I) SnCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O: Disuélvase 1.25 g de cloruro estanoso (I) en 50 ml de glicerol. Caliéntese en baño de agua y agitando con una varilla de vidrio para acelerar la disolución. Este reactivo es estable y no precisa conservadores ni un almacenamiento especial.



**Figura 3.** Espectrofotómetro, material de laboratorio, reactivos y muestras de campo.



**Figura 4.** Espectrofotometría. Muestras coloridas de ortofosfato reactivo disuelto extraídas por la técnica de fosfomolibdato de amonio

### **8.3 Trabajo de gabinete**

Se utilizó la hoja de cálculo Microsoft Excel para registrar las concentraciones obtenidas de fósforo inorgánico disuelto (ortofosfatos), así como de los parámetros ambientales correspondientes a cada una de las recolectas, como temperatura ambiente, temperatura de la columna de agua (superficie y fondo), pH, concentración del oxígeno disuelto, profundidad, salinidad. La representación gráfica se llevó a cabo por medio de gráficos de barras.

#### **8.3.1 ANOVA (Análisis de Varianza)**

Los resultados obtenidos de las concentraciones de fósforo inorgánico en forma de ortofosfato fueron sometidos a un análisis estadístico con un nivel de confianza de  $p > 0.05$  utilizando el programa IBM® SPSS® Statistics (Statistical Package for the Social Sciences) v. 24. Los datos se analizaron de la siguiente manera, se dividió al complejo lagunar Grande en 3 subsistemas (Estero, LG y LC) se llevó a cabo el análisis de varianza entre subsistemas y por épocas climáticas, en Temporada de Nortes el análisis se hizo de la siguiente manera: enero (superficie)\*, enero (fondo)\*, enero (superficie-fondo), febrero (superficie)\*,

enero-febrero (superficie), enero-febrero (superficie-fondo); para la Temporada de Secas el análisis se realizó abril (superficie)\*, abril (fondo)\*, abril (superficie-fondo), junio (superficie)\*, junio (fondo)\*, junio (superficie-fondo), abril-junio (superficie), abril-junio (fondo), abril-junio (superficie-fondo); y en la Temporada de Lluvias septiembre (superficie)\*, septiembre (fondo)\*, septiembre (superficie-fondo); \*dada la cantidad de datos solo fue posible el análisis entre 2 subsistemas (subsistema LG y subsistema LC). Se realizaron pruebas de normalidad para los valores obtenidos de concentración del ortofosfato [ $\text{P-PO}_4^{3-}$ ], siguiendo los criterios de prueba de Kolmogorov-Smirnov o de Shapiro-Wilk. Si los datos, siguen un comportamiento normal se utilizaron pruebas paramétricas como t de Student (para 2 muestras) o ANOVA (para 3 muestras o más). Se determinó la igualdad de varianzas (homocedasticidad) por medio de la prueba de Levene (Zar, 2010). Si los datos se comportan de manera no normal, entonces se aplicaron estadísticos no paramétricos como la prueba de U de Mann-Whitney (para 2 muestras) y K de Kruskal-Wallis (para 3 muestras o más). Todo ello, para definir si existe o no diferencias significativas en cuanto al comportamiento de medias o de mediana entre los subsistemas y entre las temporadas climáticas. Para la representación gráfica de los resultados de comparación entre subsistemas se utilizaron diagramas de caja y bigote. Con estos resultados se determinó la similitud o disimilitud entre los subsistemas y, por medio por del índice trófico citado por la OCDE (1982) y Janus & Vollenweider (1981), el grado de bienestar o de alteración del sistema con respecto las concentraciones del fósforo inorgánico.

Para los parámetros físicos (temperatura ambiente, temperatura agua, profundidad, salinidad, visibilidad), y químicos (pH, oxígeno disuelto) registrados respectivamente en las prácticas de campo, se realizaron pruebas de hipótesis dependiendo del tipo de distribución obtenida con un nivel de significancia de  $\alpha < 0.05$  (Zar, 1997), verificando si existe o no diferencias significativas. Se realizaron gráficos de barras para cada parámetro físico-químico y se representaron en diagramas de caja y bigote.

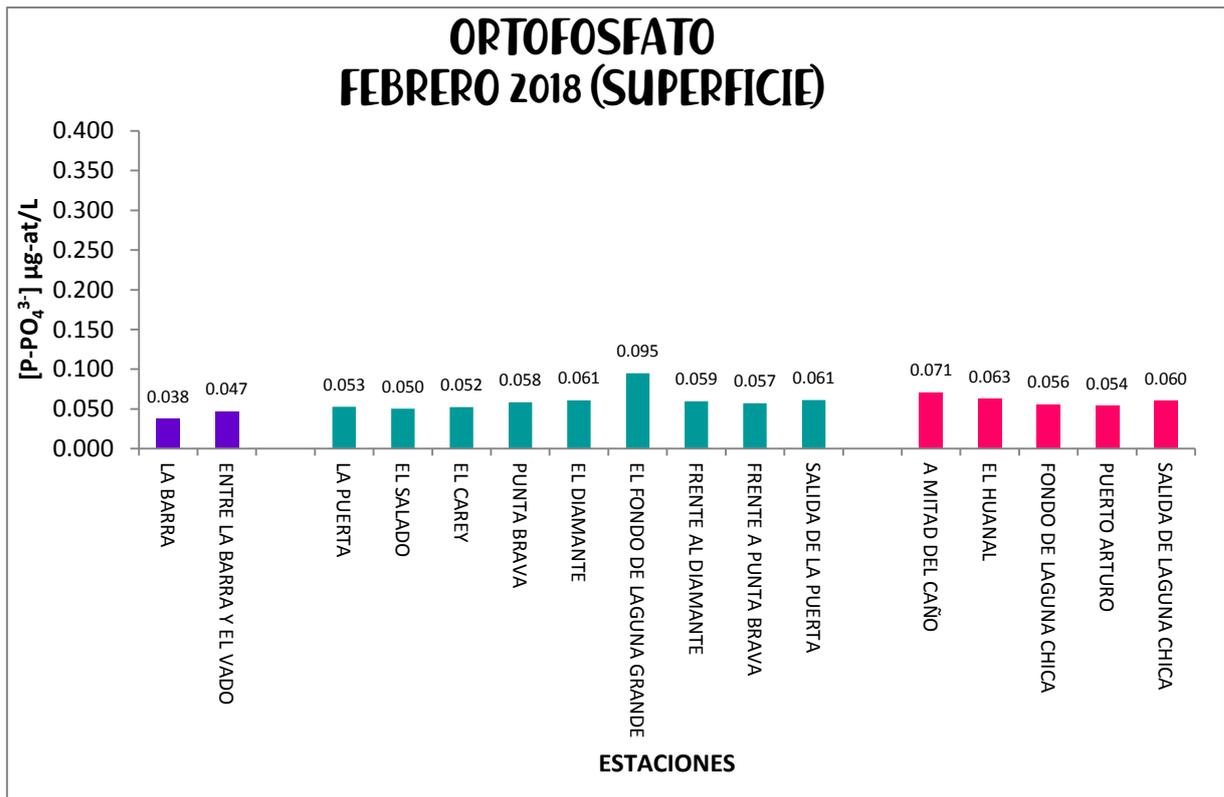
## 9. RESULTADOS

Para determinar diferencias significativas entre las temporadas y entre los subsistemas del sistema lagunar Grande, se aplicó un análisis de varianza no paramétrico a cada conjunto de datos de las muestras independientes de  $[P-PO_4^{3-}] \mu\text{g-at/L}$  y a los parámetros ambientales físico-químicos, con significancia de  $p > 0.05$ , para ello se utilizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, para evaluar la homocedasticidad se aplicó el estadístico de Levene. A continuación, se aplicaron las pruebas de U de Mann-Whitney (para 2 muestras) y K de Kruskal-Wallis (para 3 muestras o más); ello, con la finalidad de observar la variabilidad temporal de las concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto, así como de los parámetros físico-químicos a lo largo del ciclo anual. Además, se realizaron los correspondientes diagramas de caja y bigote. Debido a su facilidad se utilizó el paquete estadístico SPSS v.24.

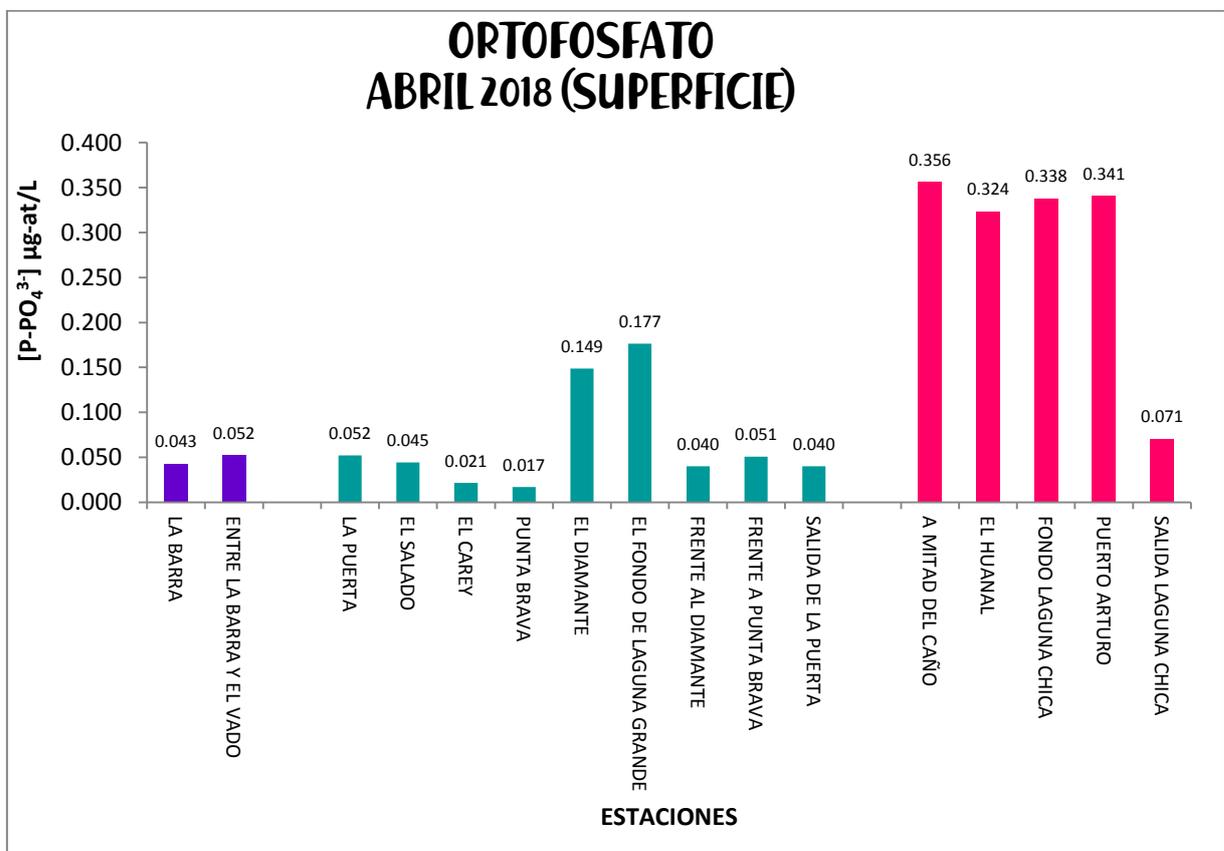
### 9.1 Concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto

**Tabla 1.** Concentraciones de fósforo inorgánico disuelto de cada una de las estaciones en los periodos comprendidos de Febrero (2018) a Enero (2019), en el complejo lagunar Grande.

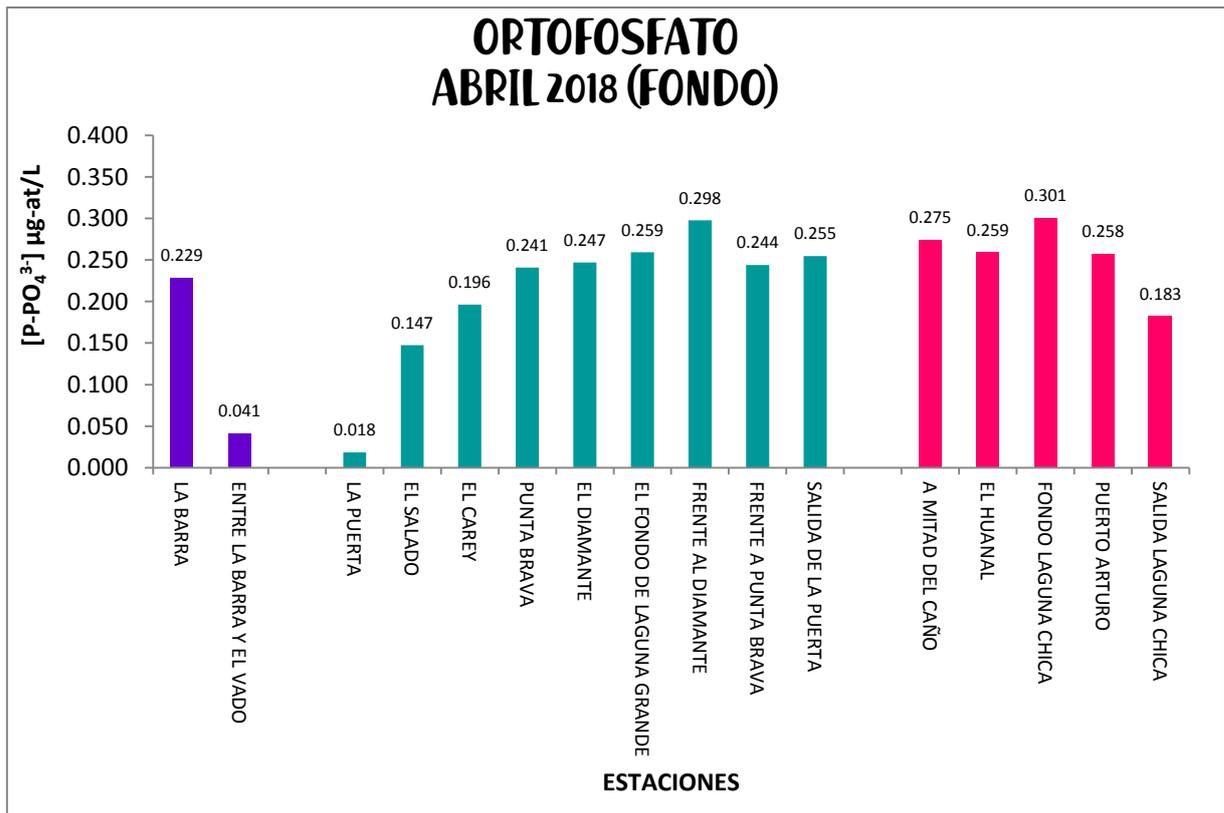
TEMPORADA	NORTES				SECAS				LLUVIAS	
ORTOFOSAFATO REACTIVO	[P-PO4] $\mu\text{g-at/L}$				[P-PO4] $\mu\text{g-at/L}$				[P-PO4] $\mu\text{g-at/L}$	
MES	ENERO (2019)		FEBRERO (2018)		ABRIL (2018)		JUNIO (2018)		SEPTIEMBRE (2018)	
NIVEL (S) SUPERFICIE (F) FONDO	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
ESTACION	<b>SUBSISTEMA LAGUNAR GRANDE</b>									
	<b>SUBSISTEMA ESTERO</b>									
LA BARRA	.002	.036	.038	-	.043	.229	.069	.196	.105	.119
ENTRE LA BARRA Y EL VADO	.050	.041	.047	-	.052	.041	.127	.017	.147	.093
	<b>SUBSISTEMA LAGUNA GRANDE</b>									
LA PUERTA	.011	.018	.053	-	.052	.018	.184	.107	.198	.208
EL SALADO (ARROYO)	.009	.022	.050	-	.045	.147	.249	.242	.260	.226
EL CAREY (ARROYO)	.013	.022	.052	-	.021	.197	.365	.349	.250	.239
PUNTA BRAVA	.012	.024	.058	-	.017	.241	.227	.339	.205	.241
EL DIAMANTE (ARROYO)	.015	.021	.061	-	.149	.247	.175	.227	.236	.221
FONDO DE LAGUNA GRANDE	.009	.013	.095	-	.177	.259	.190	.353	.162	.220
FRENTE AL DIAMANTE	.013	.011	.059	-	.040	.298	.184	.124	.213	.178
FRENTE A PUNTA BRAVA	.016	.027	.057	-	.051	.244	.209	.230	.195	.199
SALIDA DE LA PUERTA	.012	.006	.061	-	.040	.255	.166	.329	.211	.195
	<b>SUBSISTEMA LAGUNA CHICA</b>									
A MITAD DEL CAÑO	.012	.020	.071	-	.356	.275	.049	.337	.093	.184
EL HUANAL (ARROYO)	.024	.004	.063	-	.324	.259	.038	.072	.029	.051
FONDO DE LAGUNA CHICA	.001	.012	.056	-	.338	.301	.049	.237	.059	.044
PUERTO ARTURO	.060	.001	.054	-	.341	.258	.031	.171	.055	.120
SALIDA DE LAGUNA CHICA	.010	.005	.060	-	.071	.183	.020	.047	.132	.087



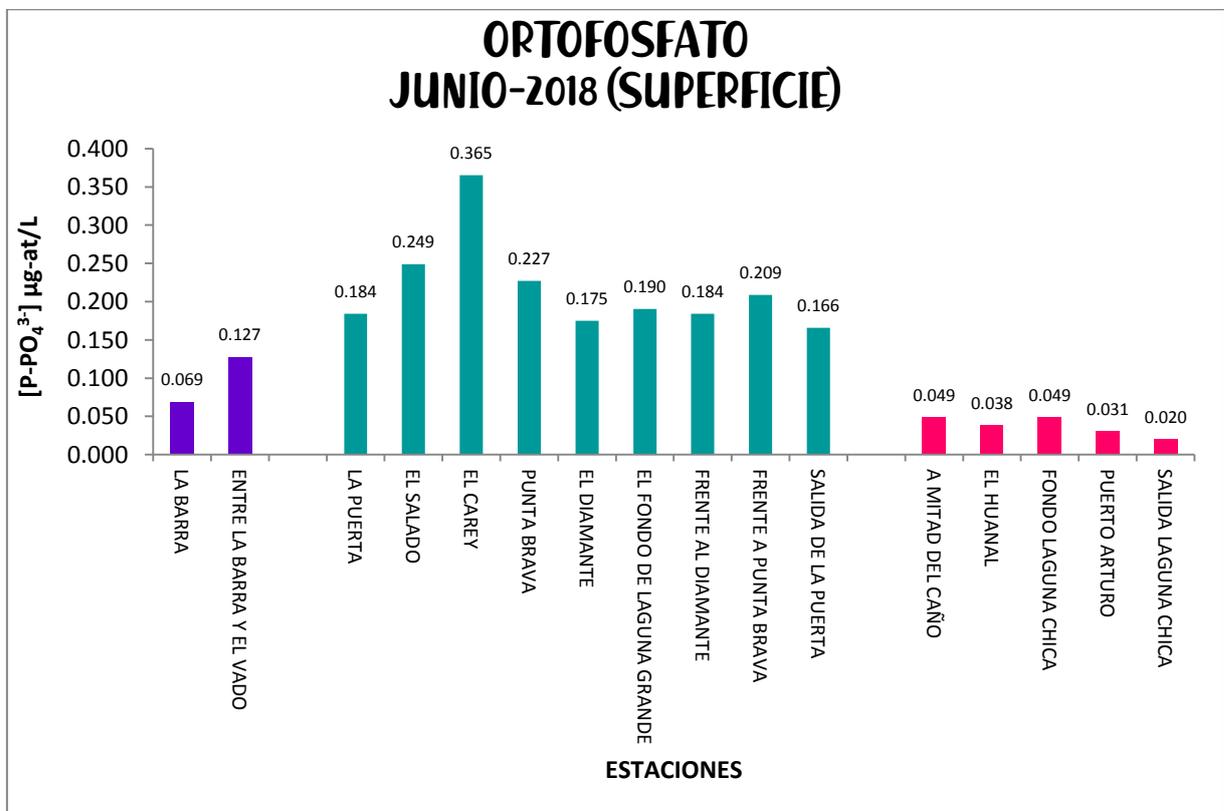
**Gráfico 1.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel superficie en el mes de febrero.



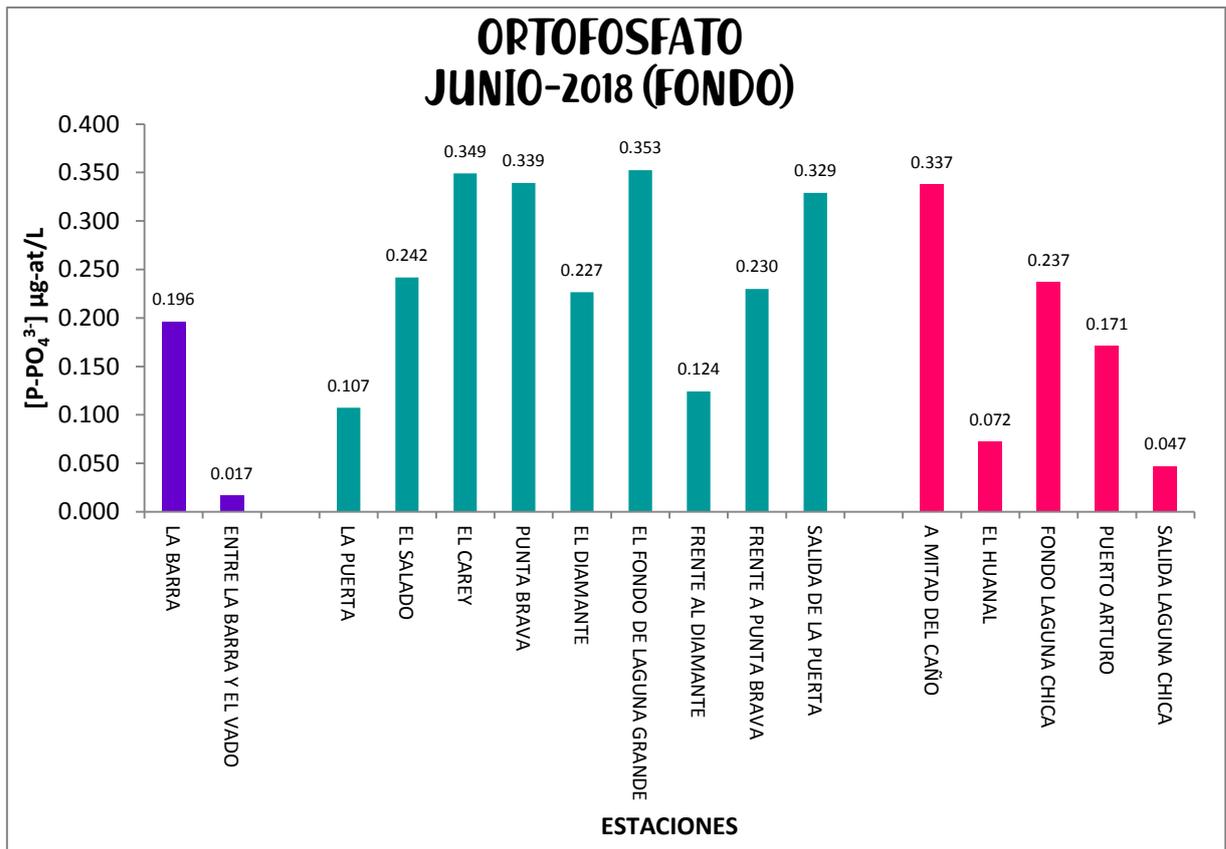
**Gráfico 2.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel superficie en el mes de abril.



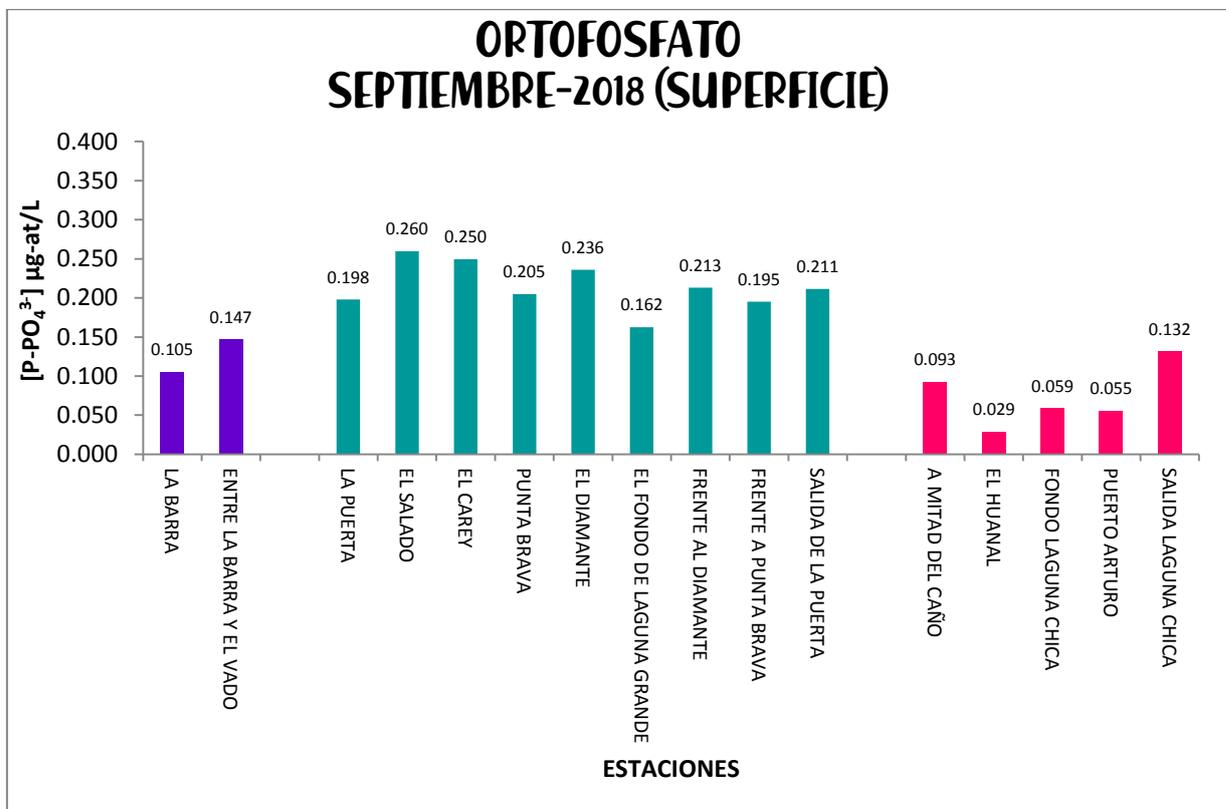
**Gráfico 3.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel fondo en el mes de abril.



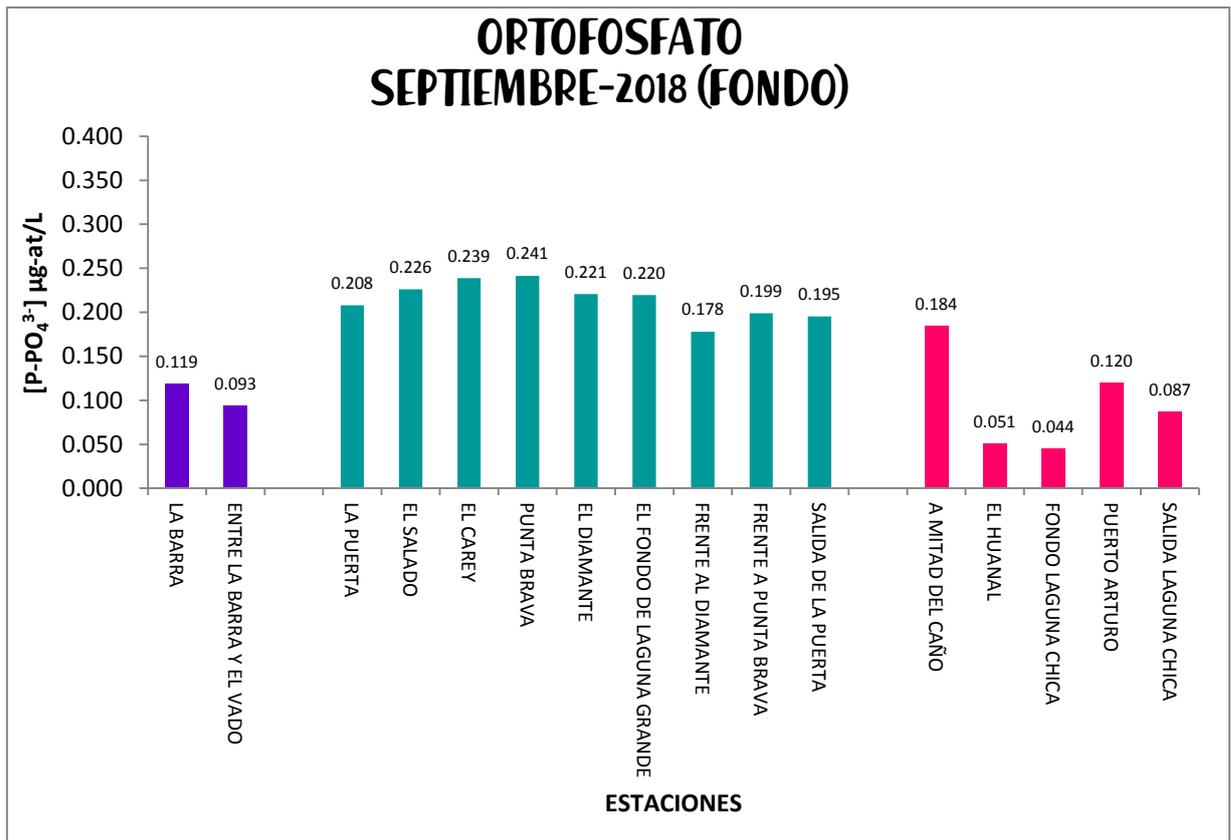
**Gráfico 4.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel superficie en el mes de junio.



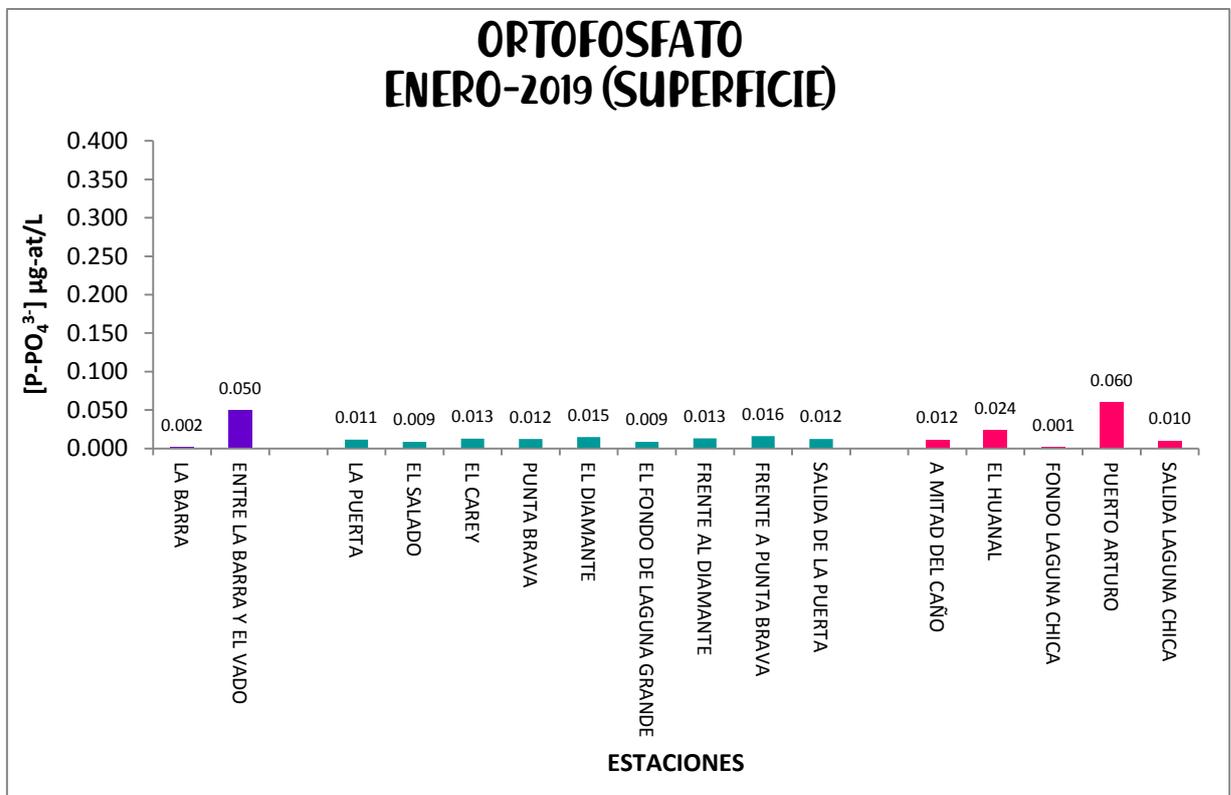
**Gráfico 5.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel fondo en el mes de junio.



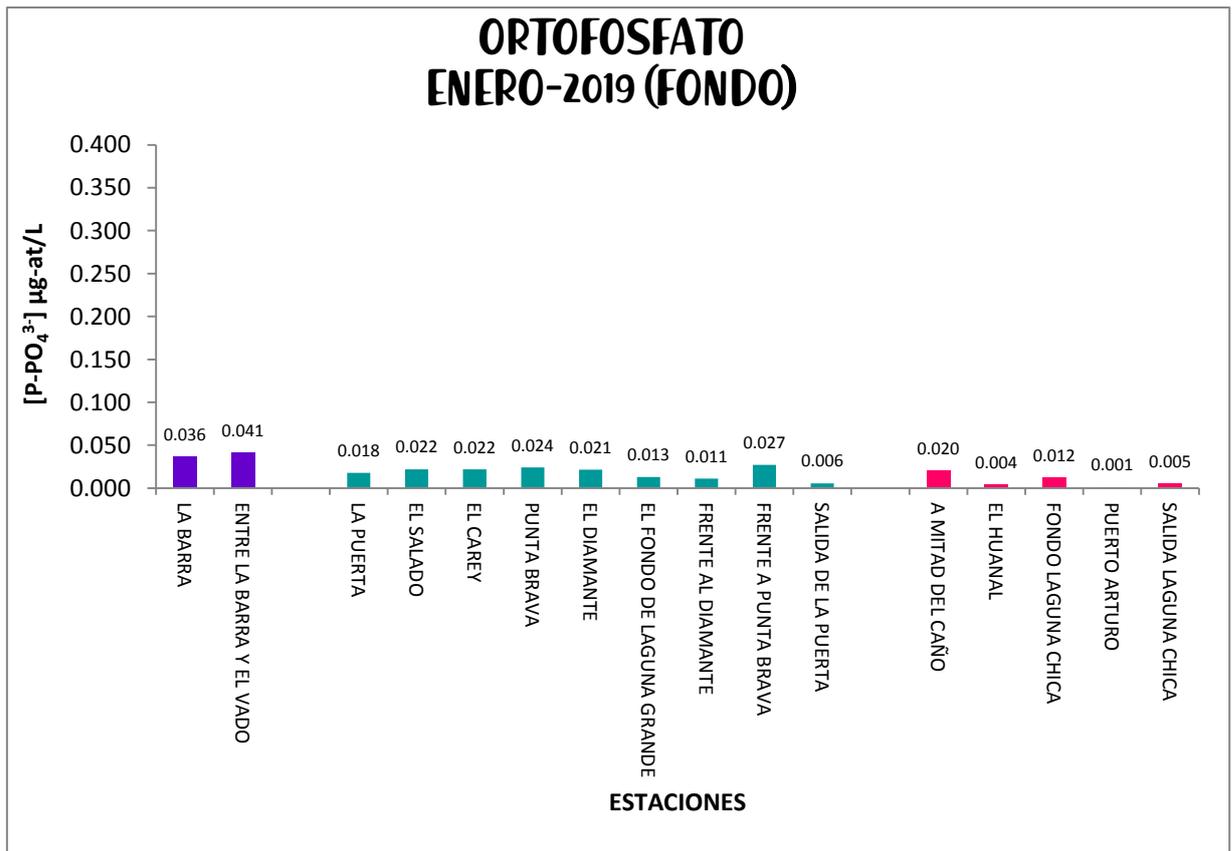
**Gráfico 6.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel superficie en el mes de septiembre.



**Gráfico 7.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel fondo en el mes de septiembre.



**Gráfico 8.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel superficie en el mes de enero.

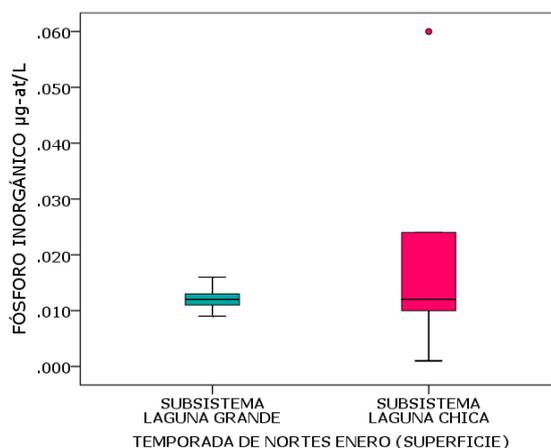


**Gráfico 9.** Concentración de ortofosfato disuelto de cada una de las estaciones del complejo lagunar estuarino Grande a nivel fondo en el mes de enero.

## 9.2 Análisis estadístico de concentración de ortofosfato reactivo disuelto

**Tabla 2.** Análisis estadístico. Temporada de nortes, mes de enero a nivel superficie.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA NORTES ENERO (SUPERFICIE)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.150	9	.200*	.944	9	.625
	SUBSISTEMA LC	.258	5	.200*	.851	5	.198
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera							
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
10.511		1	12	.007			
Prueba de Mann-Whitney							
Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
U de Mann-Whitney		21.000					
W de Wilcoxon		66.000					
Z		-.201					
Sig. Asintótica (bilateral)		.840					
Significación exacta [2* (sig. Unilateral)]		.898 <sup>b</sup>					
a. Variable de agrupación: TEMPORADA NORTE ENERO (SUPERFICIE)							
b. No corregido para empates							

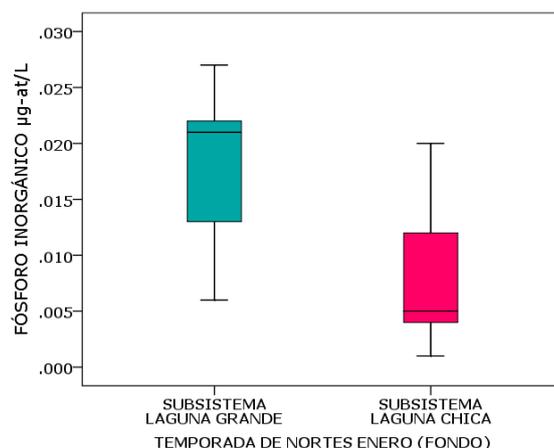


**Figura 5.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de nortes, mes de enero a nivel superficie.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel superficie en el mes de enero, en los subsistemas LG y LC se indica que existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una desigualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Mann-Whitney indica que existe un comportamiento similar en las concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.898] > 0.05$ ). En el subsistema LC (Figura 5), existe un valor atípico de .060 en la estación Puerto Arturo. En subsistema LG se registra una  $M_e = 0.0120$  y un  $\bar{X} = 0.0122$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = 0.0120$  y un  $\bar{X} = 0.0214$ .

**Tabla 3.** Análisis estadístico. Temporada de nortes, mes de enero a nivel fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD								
	TEMPORADA NORTE ENERO (FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.213	9	.200*	.935	9	.533	
	SUBSISTEMA LC	.272	5	.200*	.909	5	.461	
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera								
a. Corrección de significación de Lilliefors								
FOSFORO INORGANICO		Prueba de homogeneidad de varianzas						
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.				
.078		1	12	.784				
Prueba T								
Prueba de muestras independientes								
prueba t para la igualdad de medias								
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
FÓSFORO INORGÁNICO	Se asumen varianzas iguales	2.472	12	.029	.009822	.003973	.001166	.018478
	No se asumen varianzas iguales	2.391	7.617	.045	.009822	.004108	.000266	.019379

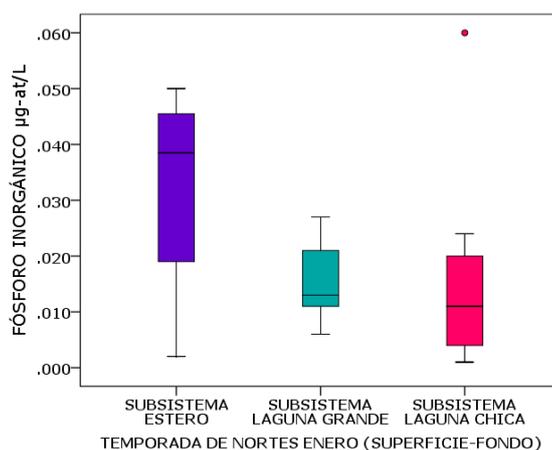


**Figura 6.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de nortes, mes de enero a nivel fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel fondo en el mes de enero, en los subsistemas LG y LC se indica que existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba T-student indica que no existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.029] < 0.05$ ). En subsistema LG se registra una  $M_e = 0.0210$  y un  $\bar{X} = 0.0182$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = 0.0050$  y un  $\bar{X} = 0.0084$  (Figura 6).

**Tabla 4.** Análisis estadístico. Temporada de nortes, mes de enero a nivel superficie y fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA NORTE ENERO (SUPERFICIE-FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.321	4		.866	4	.282
	SUBSISTEMA LG	.203	18	.047	.941	18	.303
	SUBSISTEMA LC	.265	10	.044	.752	10	.004
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FOSFORO INORGANICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
3.943		2	29	.031			
Prueba de Kruskal-Wallis							
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
Chi-cuadrado		3.655					
gl.		2					
Sig. asintótica		.161					
a. Prueba de Kruskal Wallis							
b. Variable de agrupación: TEMPORADA NORTES ENERO (SUPERFICIE-FONDO)							

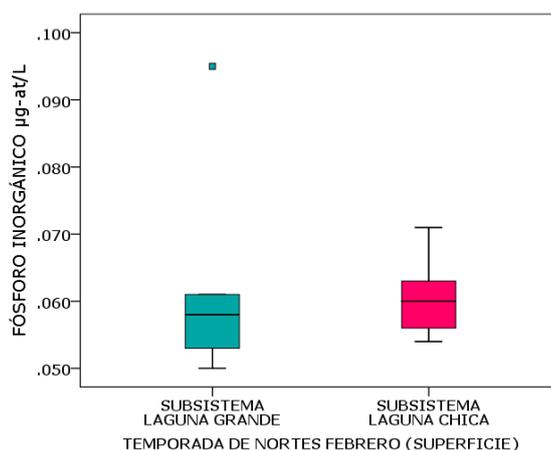


**Figura 7.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de nortes, mes de enero a nivel superficie y fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  de nivel superficial y fondo en el mes de enero, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una desigualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del sistema lagunar Grande ( $p [0.161] > 0.05$ ). En subsistema LC (Figura 7), existe un valor atípico de .060 en la estación Puerto Arturo. En subsistema Estero se registra una  $M_e = .0385$  y un  $\bar{X} = .0322$ , en subsistema LG se registra una  $M_e = .0130$  y un  $\bar{X} = .0152$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .0110$  y un  $\bar{X} = .0149$ .

**Tabla 5.** Análisis estadístico. Temporada de nortes, mes de febrero a nivel superficie.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA NORTE FEBRERO (SUPERFICIE)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.379	9	.001	.671	9	.001
	SUBSISTEMA LC	.171	5	.200	.944	5	.691
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera							
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FOSFORO INORGANICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
.319		1	12	.583			
Prueba de Mann-Whitney							
Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
U de Mann-Whitney		17.000					
W de Wilcoxon		62.000					
Z		-.734					
Sig. Asintótica (bilateral)		.463					
Significación exacta [2* (sig. Unilateral)]		.518 <sup>b</sup>					
a. Variable de agrupación: TEMPORADA NORTE FEBRERO (SUPERFICIE)							
b. No corregido para empates							

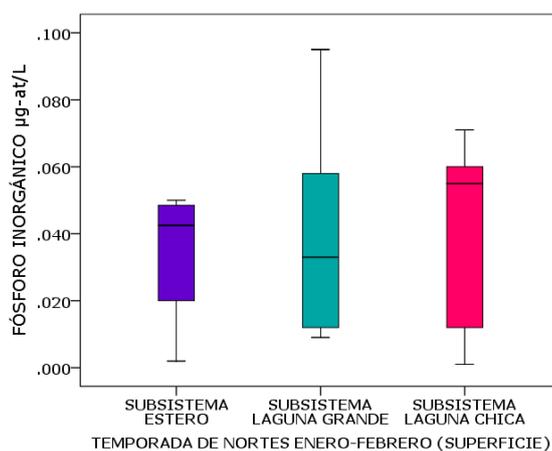


**Figura 8.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de nortes, mes de febrero a nivel superficie.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  a nivel superficial en el mes de febrero, en los subsistemas LG y LC, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Mann-Whitney indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los subsistemas LG y LC ( $p [0.518] > 0.05$ ). En el subsistema LG (Figura 8), existe un valor extraordinario de .095 en la estación Fondo de LG. En subsistema LG se registra una  $M_e = .0580$  y un  $\bar{X} = .0606$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .0600$  y un  $\bar{X} = .0608$ .

**Tabla 6.** Análisis estadístico. Temporada de nortes, mes de enero y febrero a nivel superficie.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA NORTE ENERO-FEBRERO (SUPERFICIE)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.317	4		.812	4	.125
	SUBSISTEMA LG	.279	18	.001	.822	18	.003
	SUBSISTEMA LC	.289	10	.018	.846	10	.053
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FOSFORO INORGANICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
1.218		2	29	.311			
Prueba de Kruskal-Wallis							
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>							
FOSFORO INORGANICO							
Chi-cuadrado			1.152				
gl.			2				
Sig. asintótica			.562				
a. Prueba de Kruskal Wallis							
b. Variable de agrupación: TEMPORADA NORTES ENERO-FEBRERO (SUPERFICIE)							

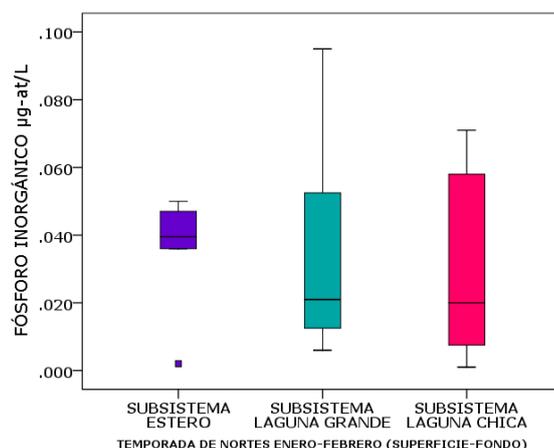


**Figura 9.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de nortes, mes de enero y febrero a nivel superficie.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  a nivel superficial en la temporada de nortes, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p$  [0.562]  $>0.05$ ). En el subsistema Estero se registra una  $M_e=0.0425$  y un  $\bar{X}=0.0342$ , en subsistema LG se registra una  $M_e=0.0330$  y un  $\bar{X}=0.0364$  y en subsistema LC se registra una  $M_e=0.0550$  y un  $\bar{X}=0.0411$  (Figura 9).

**Tabla 7.** Análisis estadístico. Temporada de nortes, mes de enero y febrero a nivel superficie y fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA NORTE ENERO-FEBRERO (SUPERFICIE-FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.341	6	.028	.780	6	.038
	SUBSISTEMA LG	.236	27	.000	.823	27	.000
	SUBSISTEMA LC	.219	15	.052	.834	15	.011
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FOSFORO INORGANICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
3.196		2	45	.050			
Prueba de Kruskal-Wallis							
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
Chi-cuadrado		.231					
gl.		2					
Sig. asintótica		.891					
a. Prueba de Kruskal Wallis							
b. Variable de agrupación: TEMPORADA NORTES ENERO-FEBRERO (SUPERFICIE-FONDO)							

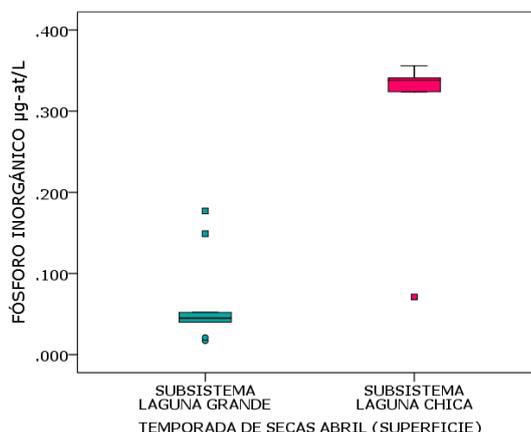


**Figura 10.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de nortes, mes de enero y febrero a nivel superficie y fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  de nivel superficial y fondo en la temporada de nortes, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p [0.891] > 0.05$ ). En el subsistema Estero (Figura 10), tenemos un dato atípico de .002 en la estación La Barra. En el subsistema Estero se registra una  $M_e = 0.0395$  y un  $\bar{X} = 0.0357$ , en subsistema LG se registra una  $M_e = 0.0210$  y un  $\bar{X} = 0.0304$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = 0.0200$  y un  $\bar{X} = 0.0302$ .

**Tabla 8.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de abril a nivel superficie.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS ABRIL (SUPERFICIE)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.374	9	.001	.749	9	.005
	SUBSISTEMA LC	.424	5	.004	.642	5	.002
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FOSFORO INORGANICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
2.346		1	12	.153			
Prueba de Mann-Whitney							
Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
U de Mann-Whitney		2.000					
W de Wilcoxon		47.000					
Z		-2.736					
Sig. Asintótica (bilateral)		.006					
Significación exacta [2* (sig. Unilateral)]		.004 <sup>b</sup>					
a. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS ABRIL (SUPERFICIE)							
b. No corregido para empates							

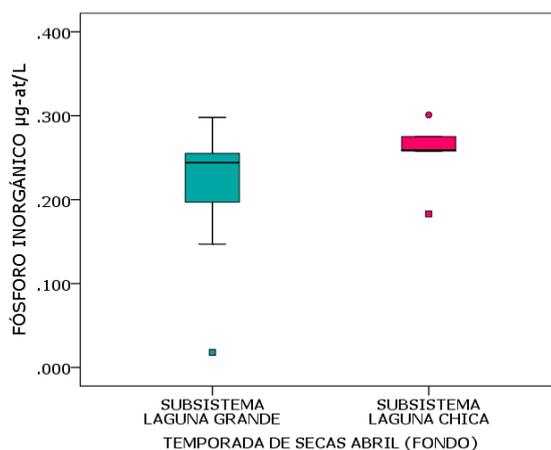


**Figura 11.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de abril a nivel superficie.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel superficial en el mes de abril, en los subsistemas LG y LC se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indico una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Mann-Whitney indica que no existe un comportamiento similar en las concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.004] < 0.05$ ). En subsistema LG (Figura 11), existe dos valores atípicos uno de .021 en la estación El Carey y .017 en la estación Punta Brava y dos valores extraordinarios de .149 en la estación El Diamante y .177 en la estación Fondo de LG. En subsistema LC existe un valor atípico de .701 estación Salida de LC. En subsistema LG se registra una  $M_e = .0450$  y un  $\bar{X} = .0658$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .3380$  y un  $\bar{X} = .2860$ .

**Tabla 9.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de abril a nivel fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS ABRIL (FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.302	9	.017	.803	9	.022
	SUBSISTEMA LC	.325	5	.090	.882	5	.317
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
1.451		1	12	.252			
Prueba de Mann-Whitney							
Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
U de Mann-Whitney		11.500					
W de Wilcoxon		56.500					
Z		-1.468					
Sig. Asintótica (bilateral)		.142					
Significación exacta [2* (sig. Unilateral)]		.147 <sup>b</sup>					
a. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS ABRIL (FONDO)							
b. No corregido para empates							

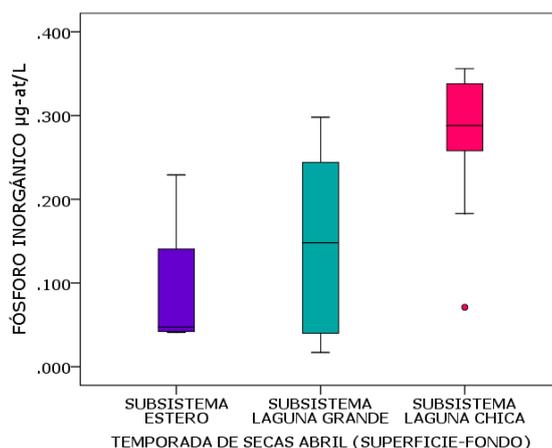


**Figura 12.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de abril a nivel fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel fondo en el mes de abril, en los subsistemas LG y LC se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba Mann-Whitney indica que al existencia de un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.147] > 0.05$ ). En subsistema LG (Figura 12), existe un valor extraordinario de .018 en la estación La Puerta. En subsistema LC tenemos un valor atípico de .301 en la estación Fondo de LC y un valor extraordinario de .183 en la estación Salida de LC. En subsistema LG se registra una  $M_e = .2440$  y un  $\bar{X} = .2118$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .2590$  y un  $\bar{X} = .2552$ .

**Tabla 10.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de abril a nivel superficie y fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS ABRIL (SUPERFICIE-FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.415	4		.673	4	.005
	SUBSISTEMA LG	.246	18	.005	.860	18	.012
	SUBSISTEMA LC	.243	10	.098	.854	10	.065
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
1.420		2	29	.258			
Prueba de Kruskal-Wallis							
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
Chi-cuadrado		12.642					
gl.		2					
Sig. asintótica		.002					
a. Prueba de Kruskal Wallis							
b. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS ABRIL (SUPERFICIE-FONDO)							



**Figura 13.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de abril a nivel superficie y fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  de nivel superficial y fondo en el mes de abril, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que no existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p [0.002] < 0.05$ ). En el subsistema LC (Figura 13), tenemos un valor atípico de .071 en la estación Salida de LC. En el subsistema Estero se registra una  $M_e = .0475$  y un  $\bar{X} = .0913$ , en subsistema LG se registra una  $M_e = .1480$  y un  $\bar{X} = .1388$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .2880$  y un  $\bar{X} = .2706$ .

**Tabla 11.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
SUBSISTEMA ESTERO-SUBSISTEMA LG	-2.681	5.184	-.517	.605	1.000
SUBSISTEMA ESTERO-SUBSISTEMA LC	-14.775	5.548	-2.663	.008	.023
SUBSISTEMA LG-SUBSISTEMA LC	-12.094	3.699	-3.270	.001	.003

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas

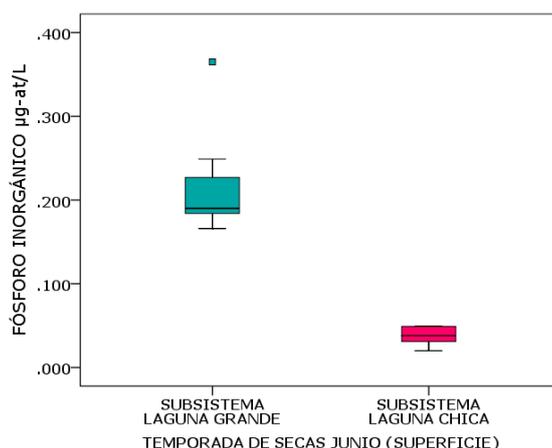
El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 11), al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de seca, en el mes de abril a nivel de superficie y fondo, en el complejo lagunar Grande, indica una disimilitud entre el subsistema Estero con subsistema LC, al igual que para subsistema LG con subsistema LC (Figura 14).



**Figura 14.** Comparaciones entre parejas de SUBSISTEMAS  
Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de SUBSISTEMAS

**Tabla 12.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de junio a nivel superficie.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS JUNIO (SUPERFICIE)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.222	9	.200*	.761	9	.007
	SUBSISTEMA LC	.226	5	.200*	.910	5	.466
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.							
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
2.947		1	12	.112			
Prueba de Mann-Whitney							
Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
U de Mann-Whitney		.000					
W de Wilcoxon		15.000					
Z		-3.007					
Sig. Asintótica (bilateral)		.003					
Significación exacta [2* (sig. Unilateral)]		.001 <sup>b</sup>					
a. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS JUNIO (SUPERFICIE)							
b. No corregido para empates							

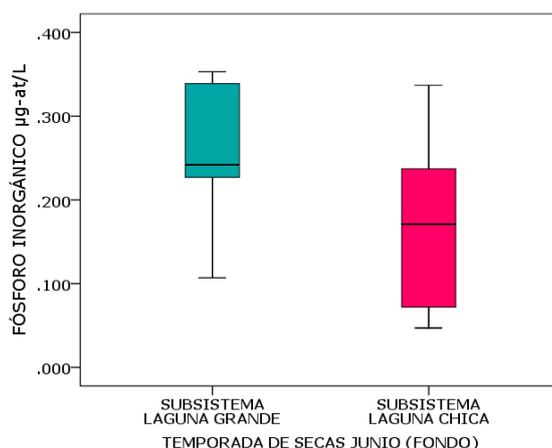


**Figura 15.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de junio a nivel superficie.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel superficial en el mes de junio, en los subsistemas LG y LC se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indico una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Mann-Whitney indica que no existe un comportamiento similar en las concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.001] < 0.05$ ). En el subsistema LG (Figura 15), tenemos un valor extraordinario de .365 en la estación El Carey. En subsistema LG se registra una  $M_e = .1900$  y un  $\bar{X} = .2166$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .0380$  y un  $\bar{X} = .0374$ .

**Tabla 13.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de junio a nivel fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD								
	TEMPORADA SECAS JUNIO (FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.226	9	.200*	.868	9	.118	
	SUBSISTEMA LC	.201	5	.200*	.948	5	.721	
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.								
a. Corrección de significación de Lilliefors								
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas						
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.				
.230		1	12	.640				
Prueba T								
Prueba de muestras independientes								
prueba t para la igualdad de medias								
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
FÓSFORO INORGÁNICO	Se asumen varianzas iguales	1.433	12	.177	.082756	.057761	-.043094	.208605
	No se asumen varianzas iguales	1.334	6.858	.225	.082756	.062034	-.064551	.230063

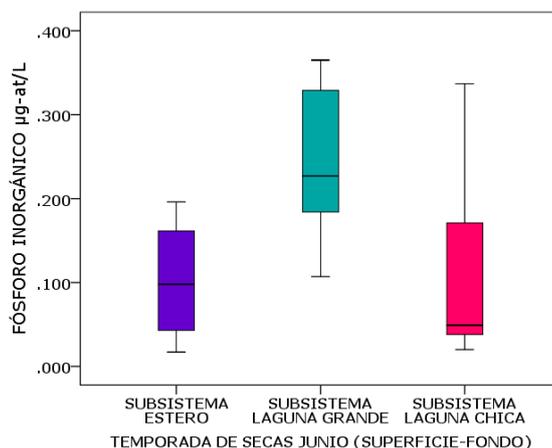


**Figura 16.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de junio a nivel fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel fondo en el mes de junio, en los subsistemas LG y LC se indica que existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ . La prueba de t de Student indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.177] > 0.05$ ). En subsistema LG se registra una  $M_e = .2420$  y un  $\bar{X} = .2556$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .1710$  y un  $\bar{X} = .1728$  (Figura 16).

**Tabla 14.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de junio a nivel superficie y fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS JUNIO (SUPERFICIE-FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.167	4		.990	4	.959
	SUBSISTEMA LG	.158	18	.200*	.922	18	.138
	SUBSISTEMA LC	.321	10	.004*	.764	10	.005
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.							
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO				Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
.778		2	29	.468			
Prueba de Kruskal-Wallis							
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
Chi-cuadrado				11.438			
gl.				2			
Sig. asintótica				.003			
a. Prueba de Kruskal Wallis							
b. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS JUNIO (SUPERFICIE-FONDO)							



**Figura 17.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de junio a nivel superficie y fondo.

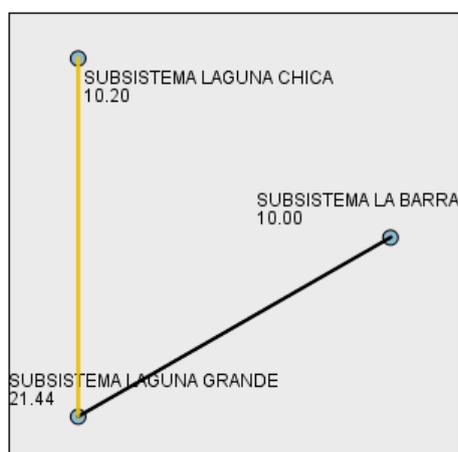
Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  de nivel superficial y fondo en el mes de junio, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que no existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p$  [0.003]  $< 0.05$ ). En el subsistema Estero se registra una  $M_e = .1023$  y un  $\bar{X} = .0980$ , en subsistema LG se registra una  $M_e = .2270$  y un  $\bar{X} = .2361$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .0490$  y un  $\bar{X} = .1051$  (Figura 17).

**Tabla 15.** Prueba Post Hoc Bonferroni.

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
SUBSISTEMA ESTERO-SUBSISTEMA LC	-.200	5.548	-.036	.971	1.000
SUBSISTEMA ESTERO-SUBSISTEMA LG	-11.444	5.184	-2.208	.027	.082
SUBSISTEMA LC-SUBSISTEMA LG	11.244	3.699	-3.040	.002	.007

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas

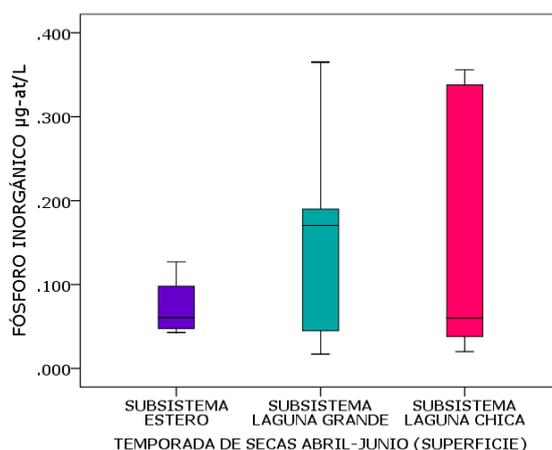
El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 15), al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de junio a nivel de superficie y fondo, indica una disimilitud entre el subsistema LC con el subsistema LG (Figura 18).



**Figura 18.** Comparaciones entre parejas de SUBSISTEMAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de SUBSISTEMAS

**Tabla 16.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de abril y junio a nivel superficie.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS ABRIL-JUNIO (SUPERFICIE)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.290	4		.858	4	.254
	SUBSISTEMA LG	.211	18	.033	.900	18	.057
	SUBSISTEMA LC	.322	10	.004	.726	10	.002
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.							
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
11.907		2	29	.000			
Prueba de Kruskal-Wallis							
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
Chi-cuadrado		.529					
gl.		2					
Sig. asintótica		.768					
a. Prueba de Kruskal Wallis							
b. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS ABRIL-JUNIO (SUPERFICIE)							



**Figura 19.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, mes de abril y junio a nivel superficie.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  a nivel superficial en la temporada de secas, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una desigualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p$  [0.768]  $>0.05$ ). En el subsistema Estero se registra una  $M_e=0.0605$  y un  $\bar{X}=0.07275$ , en subsistema LG se registra una  $M_e=0.1705$  y un  $\bar{X}=0.1412$  y en subsistema LC se registra una  $M_e=0.0600$  y un  $\bar{X}=0.1617$  (Figura 19).

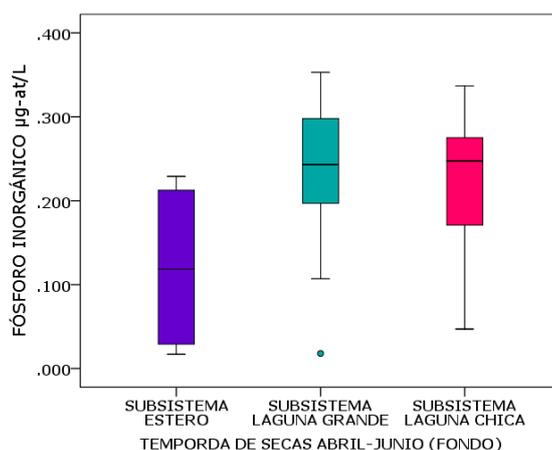
**Tabla 17.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de abril y junio a nivel fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS ABRIL-JUNIO (FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.271	4		.852	4	.233
	SUBSISTEMA LG	.193	18	.076	.928	18	.180
	SUBSISTEMA LC	.195	10	.200*	.919	10	.351

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

FÓSFORO INORGÁNICO Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
.452	2	29	.641

ANOVA					
Fosforo inorgánico					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadratica	F	Sig.
Entre grupos	.042	2	.021	2.390	.109
Dentro de grupos	.253	29	.009		
Total	.295	31			

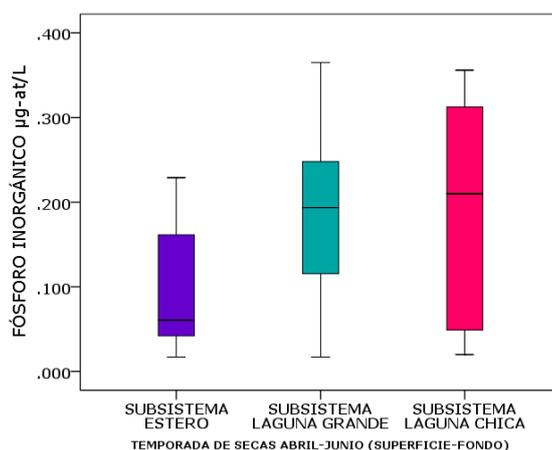


**Figura 20.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de secas, de abril y junio a nivel fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  a nivel fondo en la temporada de secas, en el sistema lagunar Grande, se indica que si existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de ANOVA indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p [0.109] > 0.05$ ). En subsistema LG (Figura 20), tenemos un valor atípico de .018 en la estación La Puerta a nivel fondo. En el subsistema Estero se registra una  $M_e = .1185$  y un  $\bar{X} = .1208$ , en subsistema LG se registra una  $M_e = .2430$  y un  $\bar{X} = .2337$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .2475$  y un  $\bar{X} = .2140$ .

**Tabla 18.** Análisis estadístico. Temporada de secas, mes de abril y junio a nivel superficie y fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA SECAS ABRIL-JUNIO (SUPERFICIE-FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.263	8	.110	.858	8	.115
	SUBSISTEMA LG	.128	36	.147	.944	36	.066
	SUBSISTEMA LC	.218	20	.013	.857	20	.007
* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.							
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
3.201		2	61	.048			
Prueba de Kruskal-Wallis							
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
Chi-cuadrado		4.326					
gl.		2					
Sig. asintótica		.115					
a. Prueba de Kruskal Wallis							
b. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS ABRIL-JUNIO (SUPERFICIE)							

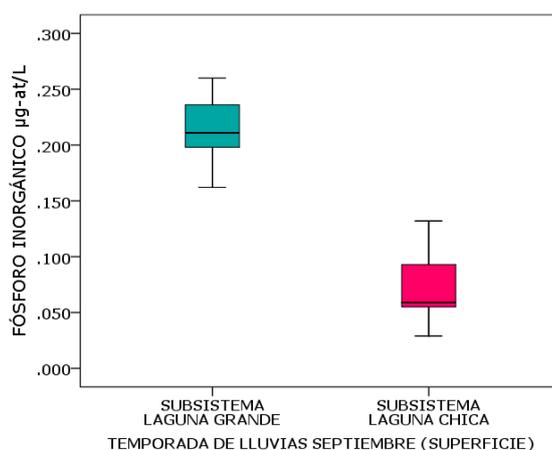


**Figura 21.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$  µg-at/L en temporada de secas, mes de abril y junio a nivel superficie y fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$  µg-at/L de nivel superficial y fondo en la temporada de secas, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una desigualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p [0.115] > 0.05$ ). En el subsistema Estero se registra una  $M_e = .0605$  y un  $\bar{X} = .0968$ , en subsistema LG se registra una  $M_e = .1935$  y un  $\bar{X} = .1874$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .2100$  y un  $\bar{X} = .1879$  (Figura 21).

**Tabla 19.** Análisis estadístico. Temporada de lluvias, mes de septiembre a nivel superficie.

PRUEBAS DE NORMALIDAD								
	TEMPORADA LLUVIAS SEPTIEMBRE (SUPERFICIE)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.186	9	.200*	.962	9	.814	
	SUBSISTEMA LC	.243	5	.200*	.951	5	.746	
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. a. Corrección de significación de Lilliefors								
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas						
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.				
.647		1	12	.437				
Prueba T								
Prueba de muestras independientes								
prueba t para la igualdad de medias								
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
FÓSFORO INORGÁNICO	Se asumen varianzas iguales	7.489	12	.000	.140844	.018806	.099870	.181819
	No se asumen varianzas iguales	6.887	6.633	.000	.140844	.020451	.091938	.189751

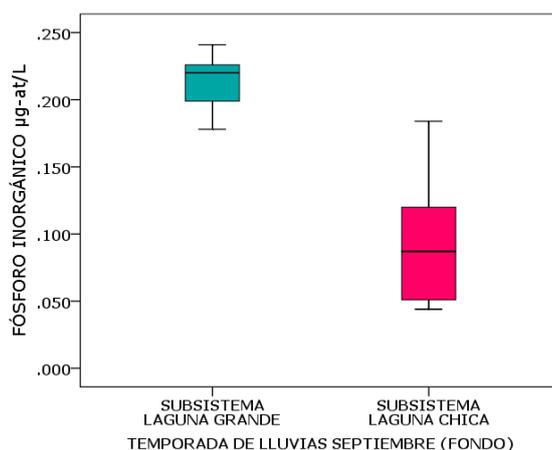


**Figura 22.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de lluvias, mes de septiembre a nivel superficie.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel superficial en el mes de septiembre, en los subsistemas LG y LC se indica que existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indico una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba T-Student indica que no existe un comportamiento similar en las concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.0] < 0.05$ ). En subsistema LG se registra una  $M_e=.2110$  y un  $\bar{X}=.2145$  y en subsistema LC se registra una  $M_e=.0590$  y un  $\bar{X}=.07360$  (Figura 22).

**Tabla 20.** Análisis estadístico. Temporada de lluvias, mes de septiembre a nivel fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA LLUVIAS SEPTIEMBRE (FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA LG	.166	9	.200*	.959	9	.787
	SUBSISTEMA LC	.190	5	.200*	.917	5	.511
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.							
a. Corrección de significación de Lilliefors							
FÓSFORO INORGÁNICO		Prueba de homogeneidad de varianzas					
Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.			
6.297		1	12	.027			
Prueba de Mann-Whitney							
Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
FÓSFORO INORGÁNICO							
U de Mann-Whitney		1.000					
W de Wilcoxon		16.000					
Z		-2.867					
Sig. Asintótica (bilateral)		.004					
Significación exacta [2* (sig. Unilateral)]		.002 <sup>b</sup>					
a. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS SEPTIEMBRE (FONDO)							
b. No corregido para empates							



**Figura 23.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de lluvias, mes de septiembre a nivel fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$ , a nivel fondo en el mes de septiembre, en los subsistemas LG y LC se indica que existe un comportamiento normal ( $p \geq 0.05$ ), la homocedasticidad indico una desigualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Mann-Whitney indica que no existe un comportamiento similar en las concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto en el subsistema LG y LC ( $p [0.002] < 0.05$ ). En subsistema LG se registra una  $M_e = .2200$  y un  $\bar{X} = .2141$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = .0870$  y un  $\bar{X} = .0972$  (Figura 23).

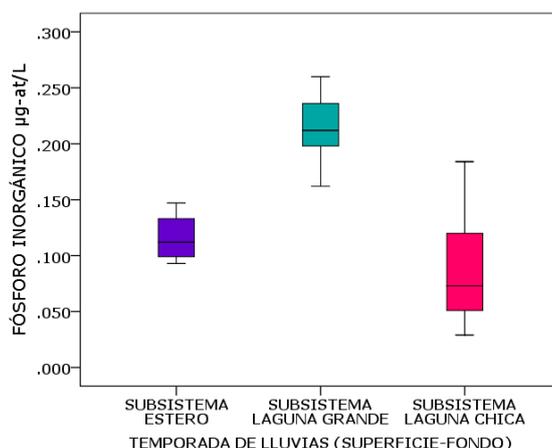
**Tabla 21.** Análisis estadístico. Temporada de lluvias, mes de septiembre a nivel superficie y fondo.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA LLUVIAS SEPTIEMBRE (SUPERFICIE-FONDO)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.199	4		.960	4	.780
	SUBSISTEMA LG	.111	18	.200*	.985	18	.989
	SUBSISTEMA LC	.208	10	.200*	.919	10	.352

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

FÓSFORO INORGÁNICO			
Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
3.201	2	29	.055

ANOVA					
FÓSFORO INORGÁNICO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.116	2	.058	50.688	.000
Dentro de grupos	.033	29	.001		
Total	.150	31			



**Figura 24.** Comparación de la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de lluvias, mes de septiembre a nivel superficie y fondo.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  de nivel superficial y fondo en el mes de septiembre, en el sistema lagunar Grande, se indica que existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una igualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de ANOVA indica que no existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande ( $p [0.0] < 0.05$ ). En el subsistema Estero se registra una  $M_e = 0.1120$  y un  $\bar{X} = 0.1160$ , en subsistema LG se registra una  $M_e = 0.2120$  y un  $\bar{X} = 0.2143$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = 0.0730$  y un  $\bar{X} = 0.0854$  (Figura 24).

**Tabla 22.** Prueba Post Hoc de Scheffe

COMPARACIONES MULTIPLES						
(I)TEMPORADA LLUVIA SEPTIEMBRE (SUPERFICIE-FONDO)	(J)TEMPORADA LLUVIA SEPTIEMBRE (SUPERFICIE-FONDO)	DIFERENCIAS DE MEDIAS (I-J)	ERROR ESTANDAR	SIG.	INTERVALO DE CONFIANZA AL 95%	
					LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
<b>SUBSISTEMA ESTERO</b>	<b>SUBSISTEMA LG</b>	-.09828*	.018725	.000	-.14658	-.04997
	<b>SUBSISTEMA LC</b>	.03060	.020041	.326	-.02110	.08230
<b>SUBSISTEMA LG</b>	<b>SUBSISTEMA ESTERO</b>	.09828*	.018725	.000	.04997	.14658
	<b>SUBSISTEMA LC</b>	.1288*	.013360	.000	.09441	.16335
<b>SUBSISTEMA LC</b>	<b>SUBSISTEMA ESTERO</b>	-.03060	.020041	.326	-.08230	.02110
	<b>SUBSISTEMA LG</b>	-.12888*	.013360	.000	-.16335	-.09441

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 22), al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  en temporada de lluvias, en el mes de septiembre a nivel de superficie y fondo, en el complejo lagunar Grande, indica que solo existe similitud entre el sistema Estero con el subsistema LC a lo largo del complejo lagunar.

**Tabla 23.** Análisis estadístico. Comparación entre las tres temporadas del ciclo anual temporada de nortes, secas y lluvias en el sistema lagunar Grande.

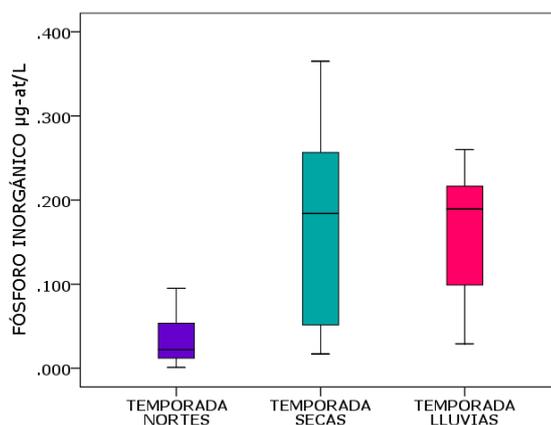
PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	TEMPORADA NORTE, SECAS Y LLUVIAS	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	TEMPORADA NORTES	.179	48	.001	.896	48	.000
	TEMPORADA SECAS	.153	64	.001	.920	64	.001
	TEMPORADA LLUVIAS	.184	32	.007	.918	32	.018

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

FÓSFORO INORGÁNICO Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
46.213	2	141	.000

Prueba de Kruskal-Wallis	
Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>	
FÓSFORO INORGÁNICO	
Chi-cuadrado	63.213
gl.	2
Sig. asintótica	.000

a. Prueba de Kruskal Wallis  
b. Variable de agrupación: TEMPORADAS NORTES, SECAS Y LLUVIAS



**Figura 25.** Comparación de  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  entre las tres temporadas del ciclo anual en el sistema lagunar Grande.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  de nivel superficial y fondo en las tres temporadas, en el sistema lagunar Grande, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una desigualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que no existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en las tres temporadas del ciclo anual en el complejo lagunar Grande ( $p [0.0] < 0.05$ ). En temporada de Nortes se registra una  $M_e=.0220$  y un  $\bar{X}=.0305$ , en temporada de Secas registra una  $M_e=.1762$  y un  $\bar{X}=.1840$  y en temporada de Lluvias se registra una  $M_e=.1895$  y un  $\bar{X}=.1617$  (Figura 25).

**Tabla 24.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-58.585	9.519	-6.154	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-58.646	7.964	-7.364	.000	.000
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	.062	9.031	.007	.994	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 24), al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  entre las tres temporadas del ciclo anual en el complejo laguna Grande, indica que la temporada de nortes con la temporada de lluvias y la temporada de nortes con la temporada de secas existen diferencias significativas (Figura 26).



**Figura 26.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS

**Tabla 25.** Análisis estadístico. Comparación entre los tres subsistemas (Estero, LG y LC) del sistema lagunar Grande.

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
	SUBSISTEMAS ESTERO, LG Y LC	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FÓSFORO INORGÁNICO	SUBSISTEMA ESTERO	.232	18	.011	.883	18	.029
	SUBSISTEMA LG	.194	81	.000	.896	81	.000
	SUBSISTEMA LC	.262	45	.000	.810	45	.030

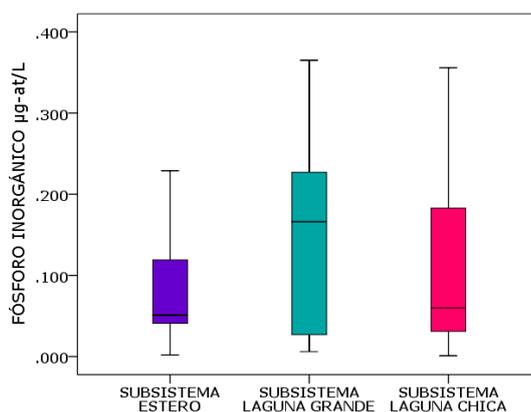
\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

FÓSFORO INORGÁNICO Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
6.749	2	141	.002

Prueba de Kruskal-Wallis  
Estadísticos de prueba<sup>a,b</sup>

FÓSFORO INORGÁNICO	
Chi-cuadrado	3.942
gl.	2
Sig. asintótica	.139

a. Prueba de Kruskal Wallis  
b. Variable de agrupación: TEMPORADA SECAS ABRIL-JUNIO (SUPERFICIE)



**Figura 27.** Comparación de  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  entre los tres subsistemas del sistema lagunar Grande.

Al comparar la  $[P-PO_4^{3-}]$   $\mu\text{g-at/L}$  de nivel superficial y fondo en los tres subsistemas del sistema lagunar Grande a lo largo de las tres temporadas, se indica que no existe un comportamiento normal ( $p \leq 0.05$ ), la homocedasticidad indica una desigualdad de varianzas en el conjunto de las muestras de  $[P-PO_4^{3-}]$ , la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe un comportamiento similar en la concentración de ortofosfato reactivo disuelto en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande a lo largo de las tres temporadas ( $p [0.139] > 0.05$ ). En subsistema Estero se registra una  $M_e = 0.0510$  y un  $\bar{X} = 0.0807$ , en subsistema LG registra una  $M_e = 0.1660$  y un  $\bar{X} = 0.1410$  y en subsistema LC se registra una  $M_e = 0.0600$  y un  $\bar{X} = 0.1125$  (Figura 27).

### 9.3 Índice trófico del complejo lagunar Grande, Veracruz

**Tabla 26.** Concentraciones de fósforo inorgánico disuelto  $\mu\text{g/L}$  de cada una de las estaciones evaluando el índice trófico en los periodos comprendidos de Febrero (2018) a Enero (2019), en el complejo lagunar Grande.

TEMPORADA	NORTES			SECAS				LLUVIAS	
ORTOFOSAFATO REACTIVO	[P-PO4] $\mu\text{g/L}$			[P-PO4] $\mu\text{g/L}$				[P-PO4] $\mu\text{g/L}$	
MES	ENERO (2019)		FEBRERO (2018)	ABRIL (2018)		JUNIO (2018)		SEPTIEMBRE (2018)	
NIVEL (S) SUPERFICIE (F) FONDO	S	F	S	S	F	S	F	S	F
ESTACION	SUBSISTEMA LAGUNAR GRANDE								
	SUBSISTEMA ESTERO								
LA BARRA	0.062	1.116	1.178	1.333	7.099	2.139	6.076	3.255	3.689
ENTRE LA BARRA Y EL VADO	1.550	1.271	1.457	1.612	1.271	3.937	0.527	4.557	2.883
	SUBSISTEMA LAGUNA GRANDE								
LA PUERTA	0.341	0.558	1.643	1.612	0.558	5.704	3.317	6.138	6.448
EL SALADO (ARROYO)	0.279	0.682	1.550	1.395	4.557	7.719	7.502	8.060	7.006
EL CAREY (ARROYO)	0.403	0.682	1.612	0.651	6.107	11.315	10.819	7.750	7.409
PUNTA BRAVA	0.372	0.744	1.798	0.527	7.471	7.037	10.509	6.355	7.471
EL DIAMANTE (ARROYO)	0.465	0.651	1.891	4.619	7.657	5.425	7.037	7.316	6.851
FONDO DE LAGUNA GRANDE	0.279	0.403	2.945	5.487	8.029	5.890	10.943	5.022	6.820
FRENTE AL DIAMANTE	0.403	0.341	1.829	1.240	9.238	5.704	3.844	6.603	5.518
FRENTE A PUNTA BRAVA	0.496	0.837	1.767	1.581	7.564	6.479	7.130	6.045	6.169
SALIDA DE LA PUERTA	0.372	0.186	1.891	1.240	7.905	5.146	10.199	6.541	6.045
	SUBSISTEMA LAGUNA CHICA								
A MITAD DEL CAÑO	0.372	0.62	2.201	11.036	8.525	1.519	10.447	2.883	5.704
EL HUANAL (ARROYO)	0.744	0.124	1.953	10.044	8.029	1.178	2.232	0.899	1.581
FONDO DE LAGUNA CHICA	0.031	0.372	1.736	10.478	9.331	1.519	7.347	1.829	1.364
PUERTO ARTURO	1.860	0.031	1.674	10.571	7.998	0.961	5.301	1.705	3.720
SALIDA DE LAGUNA CHICA	0.310	0.155	1.860	2.201	5.673	0.620	1.457	4.092	2.697

**Tabla 27.** Clasificación que propone la OCDE (1982) y Janus y Vollenweider (1981), para los valores límites de clasificación trófica para el nutrimento fósforo inorgánico.

NIVEL DE PRODUCTIVIDAD	FÓSFORO INORGÁNICO $\mu\text{g/L}$
ULTRA-OLIGOTROFICO	< 0.75
OLIGO-MESOTROFICO	0.75 – 1.5
MESO-EUTROFICO	1.5 – 4.5
EUTROFICO	4.5 – 15
HIPER-EUTROFICO	>15

### 9.4 Concentraciones de parámetros ambientales

Climáticamente, a lo largo del año, el complejo lagunar Grande presenta tres temporadas: secas (marzo a junio), lluvias (julio a octubre) y nortes (noviembre a marzo).

En las tablas siguientes se representan los valores mínimos y máximos de cada uno de los parámetros físicos (profundidad, visibilidad, temperatura ambiente, temperatura del agua, salinidad) y químicos (pH y oxígeno disuelto) de cada uno

de los subsistemas (Estero, LG y LC) que conforman al complejo lagunar Grande a lo largo de las temporadas (Nortes, Secas y Lluvias) que comprenden el ciclo anual.

#### 9.4.1 Propiedades Físicas:

**Tabla 28.** Valores mínimos y máximos del parámetro profundidad (m) de cada subsistema (Estero, LG y LC) a lo largo de las temporadas (Nortes, Secas y Lluvias). Ver Gráfico del 10 al12.

PROFUNDIDAD (m)					
Temporadas	NORTES		SECAS		LLUVIAS
Meses	ENERO	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	SEPTIEMBRE
<b>Subsistemas Estero</b>	1.19-2.19	0.60-2.50	1.7-1.8	0.72-0.91	0.85-1.23
<b>Subsistema LG</b>	0.53-0.91	0.34-0.90	0.38-1.4	0.28-0.88	0.44-0.71
<b>Subsistema LC</b>	0.68-0.94	0.58-0.91	0.73-1.6	0.74-0.93	0.54-0.78

Las estaciones de colecta denominada entre La Barra y El Vado perteneciente al subsistema El Estero, así como la estación de colecta situada a mitad de El Caño, perteneciente al subsistema LC, representan las estaciones de mayor profundidad del sistema lagunar Grande esto debido a la geomorfología del lugar.

En la estación de colecta que se encuentra a mitad del Caño y que conecta a los subsistemas LG y LC perteneciente al subsistema LC, la profundidad en enero fue de 1.62 m, en febrero fue de 2.40 m, para el mes de abril fue de 2.64 m, y junio fue de 2.48 m, y para el mes de septiembre fue de 2.18 m.

**Tabla 29.** Valores mínimos y máximos del parámetro visibilidad (cm) de cada subsistema (Estero, LG y LC) a lo largo de las temporadas (Nortes, Secas y Lluvias).

VISIBILIDAD (cm)					
Temporadas	NORTES		SECAS		LLUVIAS
Meses	ENERO	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	SEPTIEMBRE
<b>Subsistemas Estero</b>	110	20	17	48	33
<b>Subsistema LG</b>	38-72	23-45	17-66	26-56	10-21
<b>Subsistema LC</b>	35-50.5	31-37	28-48	28-37	22-38

**Tabla 30.** Valores mínimos y máximos de la temperatura ambiente (°C) de cada subsistema (Estero, LG y LC) a lo largo de las temporadas (Nortes, Secas y Lluvias).

TEMPERATURA AMBIENTE (°C)					
Temporadas	NORTES		SECAS		LLUVIAS
Meses	ENERO	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	SEPTIEMBRE
<b>Subsistemas Estero</b>	21	27	26	28	29
<b>Subsistema LG</b>	26-32	27-29	25-32.5	25-35	26-31
<b>Subsistema LC</b>	27-31	26-35	26-31	28.5-35	25-26

**Tabla 31.** Valores mínimos y máximos de la temperatura del agua (°C) del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de nortes. Ver Gráfico 13.

<b>TEMPERATURA DEL AGUA (°C)</b>			
<b>TEMPORADA DE NORTES</b>	<b>ENERO</b>		<b>FEBRERO</b>
<b>NIVEL</b>	<b>superficie</b>	<b>fondo</b>	<b>superficie</b>
<b>Subsistemas Estero</b>	23.3	23.2	25.0
<b>Subsistema LG</b>	23.7-26.9	24-27.2	26.1-29.4
<b>Subsistema LC</b>	24.2-26.3	25.2-28.7	25.4-28.7

**Tabla 32.** Valores mínimos y máximos de la temperatura del agua (°C) del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de secas. Ver Gráfico 14.

<b>TEMPERATURA DEL AGUA (°C)</b>				
<b>TEMPORADA DE SECAS</b>	<b>ABRIL</b>		<b>JUNIO</b>	
<b>NIVEL</b>	<b>superficie</b>	<b>fondo</b>	<b>superficie</b>	<b>fondo</b>
<b>Subsistemas Estero</b>	27.6	25.0	27.5	26.8
<b>Subsistema LG</b>	26.5-33.3	26.5-33.5	27.3-32.9	27.4-31
<b>Subsistema LC</b>	27.5-29.9	28.9-32.8	29.4-33.4	29.7-33.6

**Tabla 33.** Valores mínimos y máximos de la temperatura del agua (°C) del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de lluvias. Ver Gráfico 15.

<b>TEMPERATURA DEL AGUA (°C)</b>		
<b>TEMPORADA DE LLUVIAS</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	
<b>NIVEL</b>	<b>superficie</b>	<b>fondo</b>
<b>Subsistemas Estero</b>	29.1	28.9
<b>Subsistema LG</b>	29.1-30.2	28.9-29.9
<b>Subsistema LC</b>	26.2-26.8	26.2-26.7

**Tabla 34.** Valores mínimos y máximos de la salinidad (‰) del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de nortes. Ver Gráfico 16.

<b>SALINIDAD (‰)</b>			
<b>TEMPORADA DE NORTES</b>	<b>ENERO</b>		<b>FEBRERO</b>
<b>NIVEL</b>	<b>superficie</b>	<b>fondo</b>	<b>superficie</b>
<b>Subsistemas Estero</b>	28-34	30-31	10-29
<b>Subsistema LG</b>	18-20	16-23	3-11
<b>Subsistema LC</b>	10-15	13-19	6-7

**Tabla 35.** Valores mínimos y máximos de la salinidad (‰) del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de secas. Ver Gráfico 17.

<b>SALINIDAD (‰)</b>				
<b>TEMPORADA DE SECAS</b>	<b>ABRIL</b>		<b>JUNIO</b>	
<b>NIVEL</b>	<b>superficie</b>	<b>fondo</b>	<b>superficie</b>	<b>fondo</b>
<b>Subsistemas Estero</b>	5-16	28-31	30	26-31
<b>Subsistema LG</b>	8-14	7-11	14-25	15-26
<b>Subsistema LC</b>	2-6	3-10	8-10	8-15

**Tabla 36.** Valores mínimos y máximos de la salinidad (‰) del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de lluvias. Ver Gráfico 18.

SALINIDAD (‰)		
TEMPORADA DE LLUVIAS	SEPTIEMBRE	
NIVEL	superficie	fondo
Subsistemas Estero	2-6	3-10
Subsistema LG	16-30	20-21
Subsistema LC	15-20	15-20

#### 9.4.2 Propiedades Químicas:

**Tabla 37.** Valores mínimos y máximos del pH del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de nortes. Ver Gráfico 19.

pH			
TEMPORADA DE NORTES	ENERO		FEBRERO
NIVEL	superficie	fondo	superficie
Subsistemas Estero	9.15-9.26	9.1-9.18	8.14-8.37
Subsistema LG	8.38-8.68	8.4-8.64	8.11-8.34
Subsistema LC	8.5-9.18	8.6-9.55	8.02-8.3

**Tabla 38.** Valores mínimos y máximos del pH del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de secas. Ver Gráfico 20.

pH				
TEMPORADA DE SECAS	ABRIL		JUNIO	
NIVEL	superficie	fondo	superficie	fondo
Subsistemas Estero	7.7-7.8	7.7-7.9	5.6-8.51	8.34-8.43
Subsistema LG	7.6-8.1	7.5-8.1	8.37-9.9	8.33-9.10
Subsistema LC	7.7-8.1	7.6-8	9.43-10.15	8.42-9.86

**Tabla 39.** Valores mínimos y máximos del pH del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de lluvias. Ver Gráfico 21.

pH		
TEMPORADA DE LLUVIAS	SEPTIEMBRE	
NIVEL	superficie	fondo
Subsistemas Estero	8.32-8.79	8.34-8.78
Subsistema LG	8.78-9.34	8.2-9.24
Subsistema LC	8.72-8.96	8.44-8.87

**Tabla 40.** Valores mínimos y máximos del oxígeno disuelto del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de nortes. Ver Gráfico 22.

OXIGENO DISUELTO (ppm)			
TEMPORADA DE NORTES	ENERO		FEBRERO
NIVEL	superficie	fondo	superficie
Subsistemas Estero	10.1-11	9.6-10.8	5.43-7.06
Subsistema LG	7.4-9.3	6.4-8.5	5.26-14.9
Subsistema LC	7-12.7	6.2-12.4	4.3-6.5

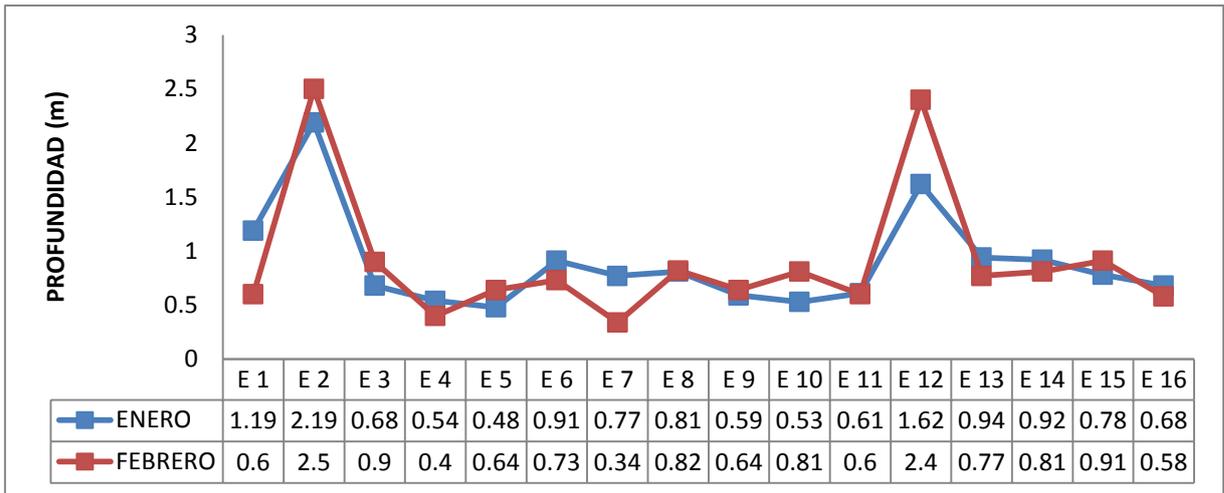
**Tabla 41.** Valores mínimos y máximos del oxígeno disuelto del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de secas. Ver Gráfico 23.

OXIGENO DISUELTO (ppm)		
TEMPORADA DE SECAS	ABRIL	
NIVEL	superficie	fondo
Subsistemas Estero	7.9-8.6	8.5
Subsistema LG	6.9-9.8	5.9-9.2
Subsistema LC	7.3-10.5	7.7-8.8

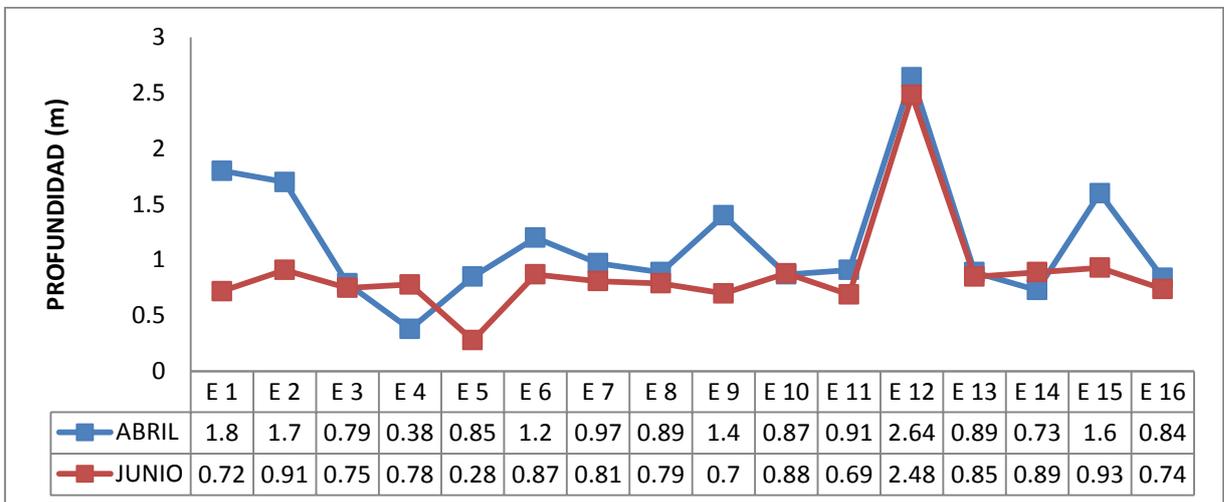
**Tabla 42.** Valores mínimos y máximos del oxígeno disuelto del nivel de superficie y fondo, de cada uno de los subsistemas (Estero, LG y LC) en temporada de lluvias. Ver Gráfico 24.

OXIGENO DISUELTO (ppm)		
TEMPORADA DE LLUVIAS	SEPTIEMBRE	
NIVEL	superficie	fondo
Subsistemas Estero	5.3-10.8	4.3-11.4
Subsistema LG	4-13.9	4.5-11.4
Subsistema LC	3.3-4.7	1.4-3.8

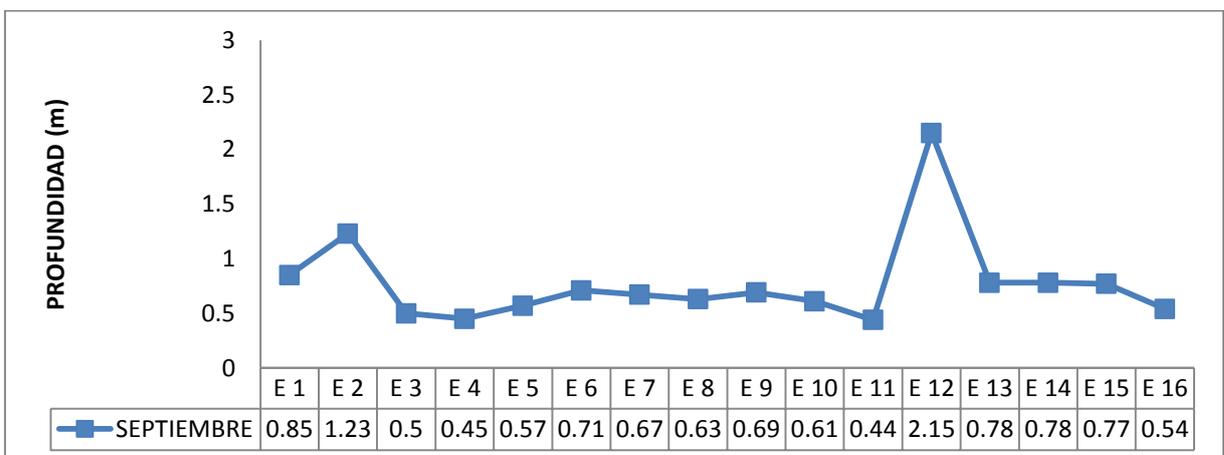
Para una mejor representación de la variabilidad estacional de cada uno de los parámetros obtenidos, profundidad, temperatura ambiente, temperatura del agua, salinidad, pH, OD, por subsistemas y por temporadas se tiene los gráficos del 1 al 15. Las estaciones de colecta que aparecen en los gráficos corresponden a las siguientes siglas para el subsistema: **El Estero:** E1 = La Barra, E2 = Entre la Barra y el Vado. **Subsistema LG:** E3 = La Puerta, E4 = El Salado; E5 = El Carey; E6 = Punta Brava; E7 = El Diamante; E8 = Fondo de Laguna Grande, E9 = Frente al Diamante; E10 = Frente a Punta Brava; E11 = Salida de la Puerta. **Subsistema LC:** E12 = A mitad del Caño; E13 = El Huanal; E14 = Fondo de Laguna Chica, E15 = Puerto Arturo; E16 = Salida de Laguna Chica.



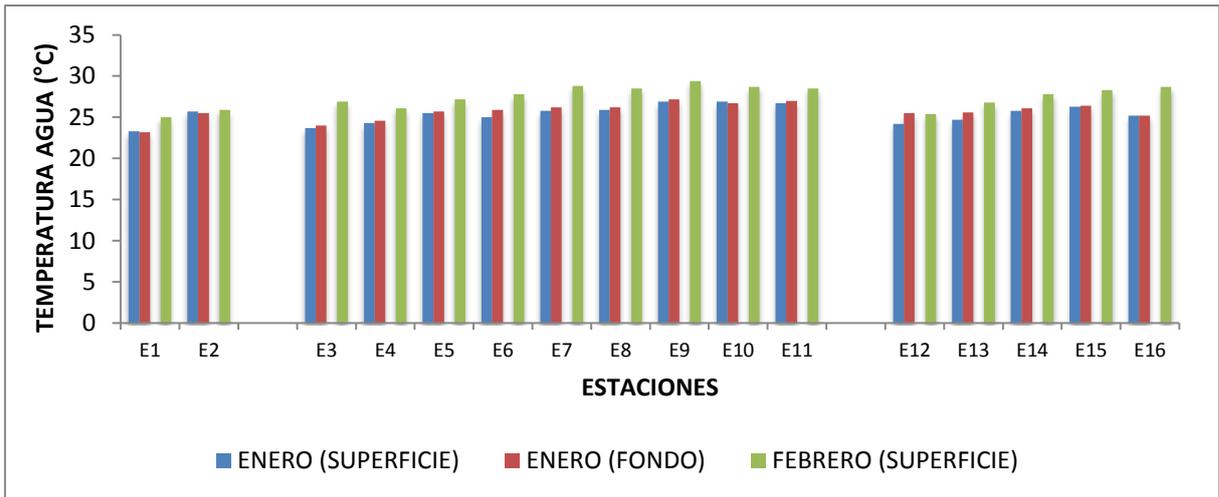
**Gráfico 10.** Variación de la profundidad para la temporada de Nortes en el complejo lagunar estuarino Grande.



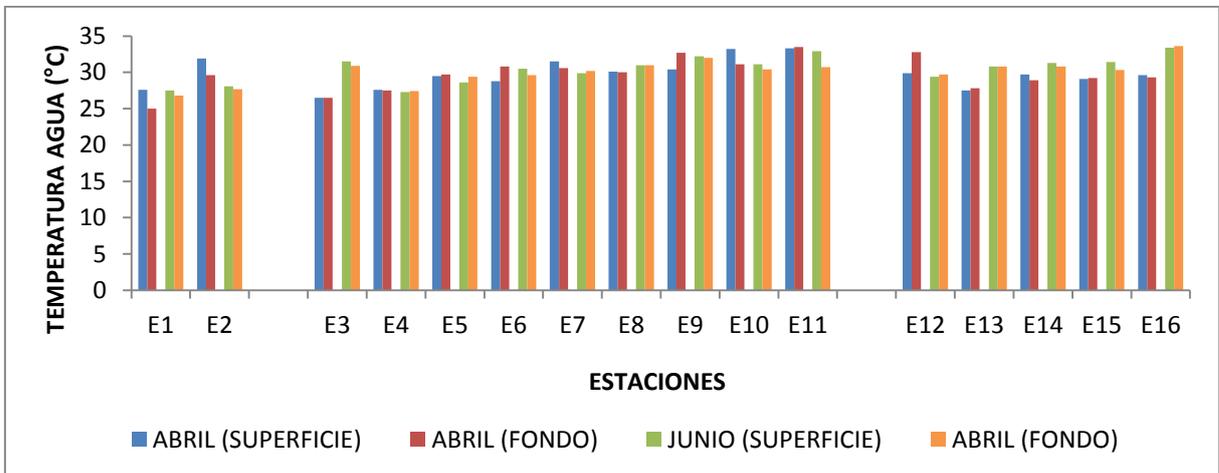
**Gráfico 11.** Variación de la profundidad para la temporada de Secas en el complejo lagunar estuarino Grande.



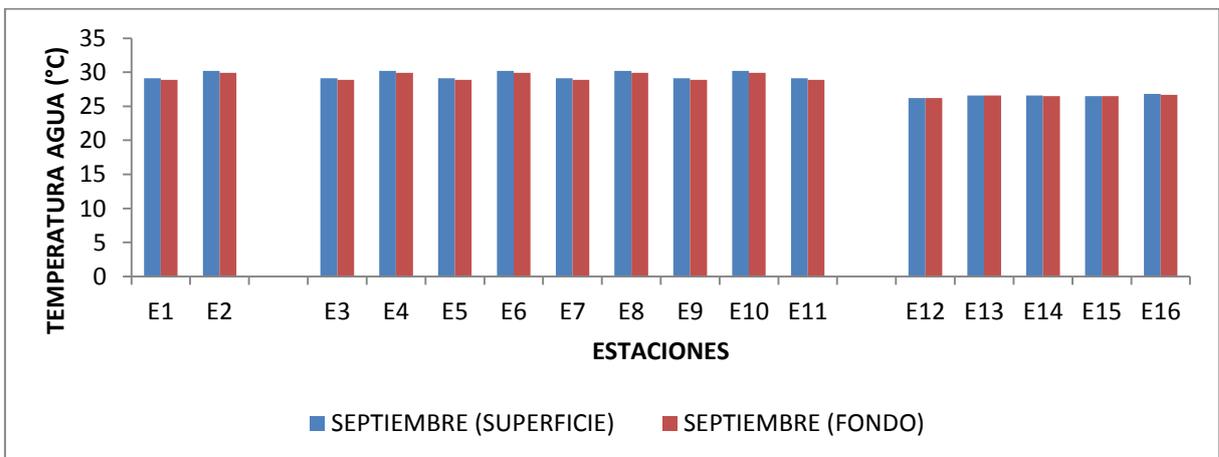
**Gráfico 12.** Variación de la profundidad para la temporada de Lluvias en el complejo lagunar estuarino Grande



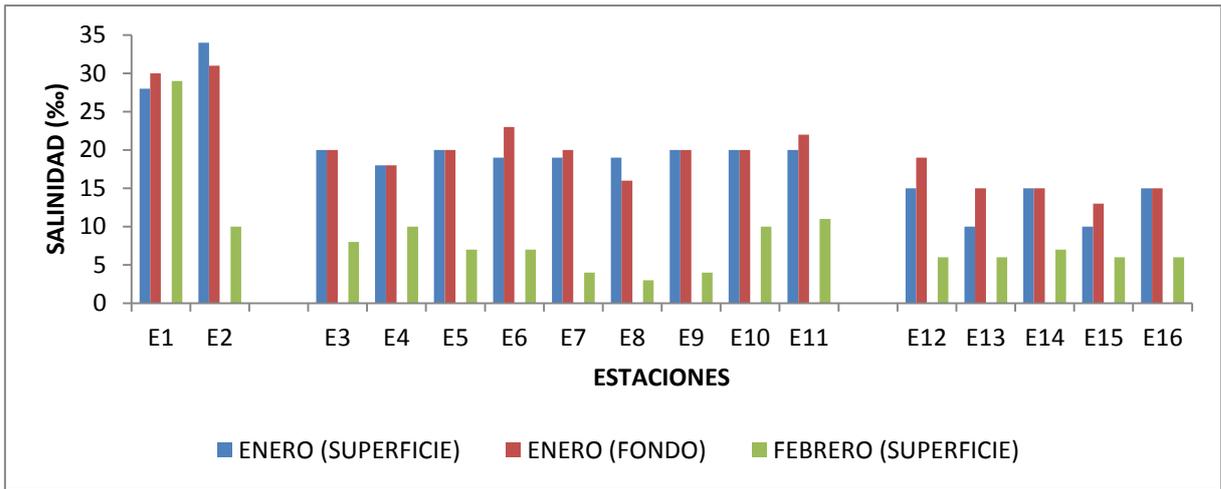
**Gráfico 13.** Variación de la temperatura de agua para la temporada de Nortes en el complejo lagunar estuarino Grande.



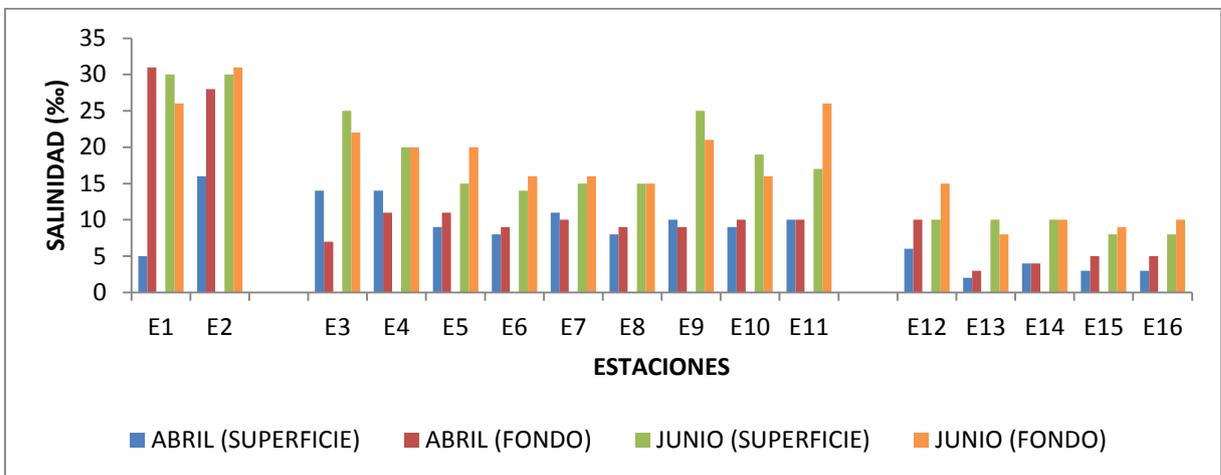
**Gráfico 14.** Variación de la temperatura de agua para la temporada de Secas en el complejo lagunar estuarino Grande.



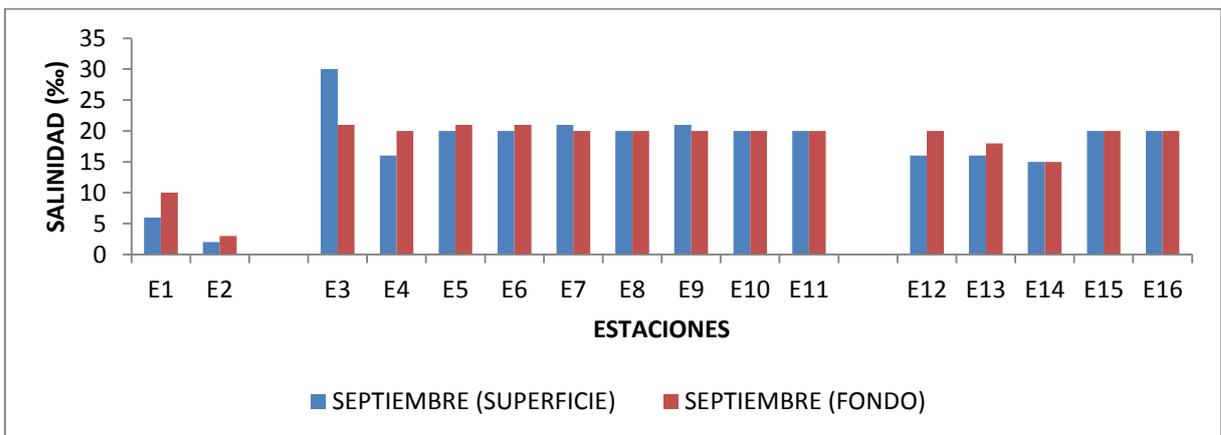
**Gráfico 15.** Variación de la temperatura de agua para la temporada de Lluvias en el complejo lagunar estuarino Grande.



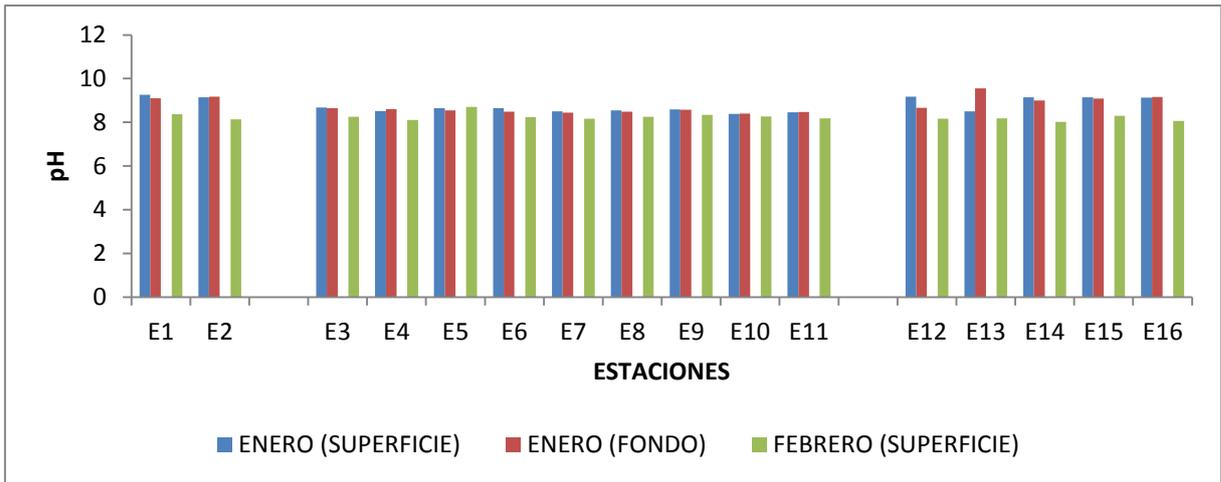
**Gráfico 16.** Variación de salinidad para la temporada de Nortes en el complejo lagunar estuarino Grande.



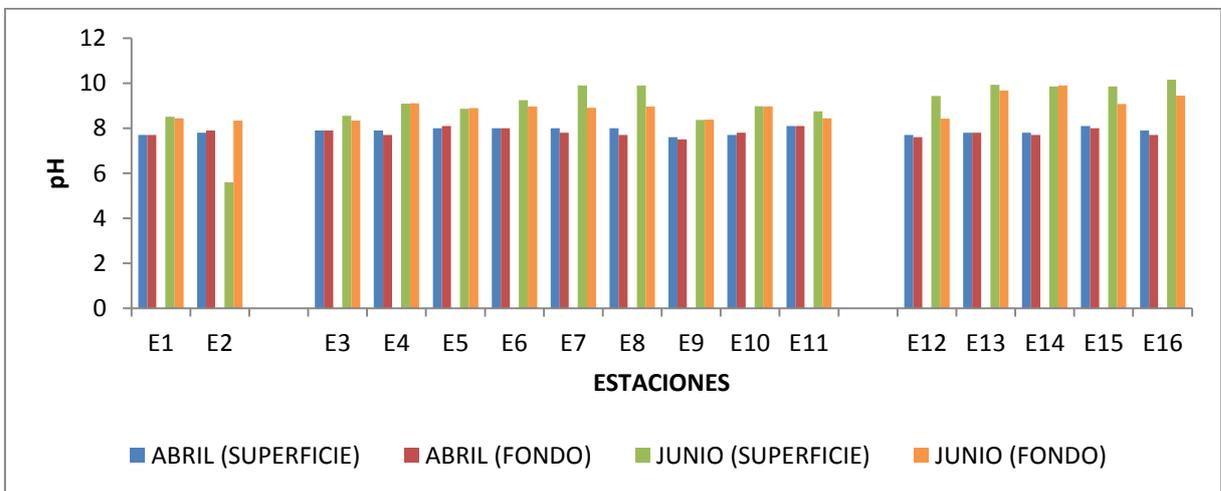
**Gráfico 17.** Variación de salinidad para la temporada de Secas en el complejo lagunar estuarino Grande.



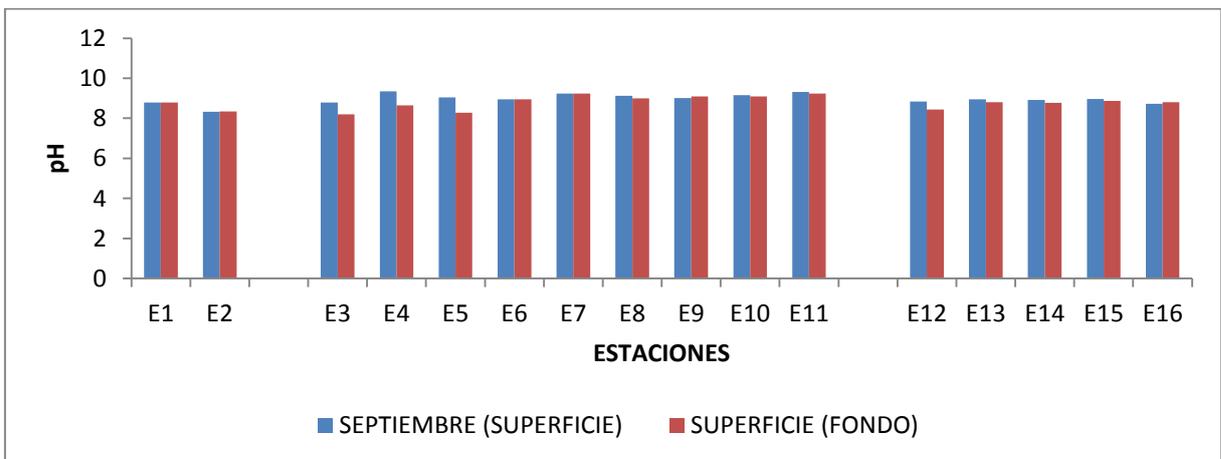
**Gráfico 18.** Variación de salinidad para la temporada de Lluvias en el complejo lagunar estuarino Grande.



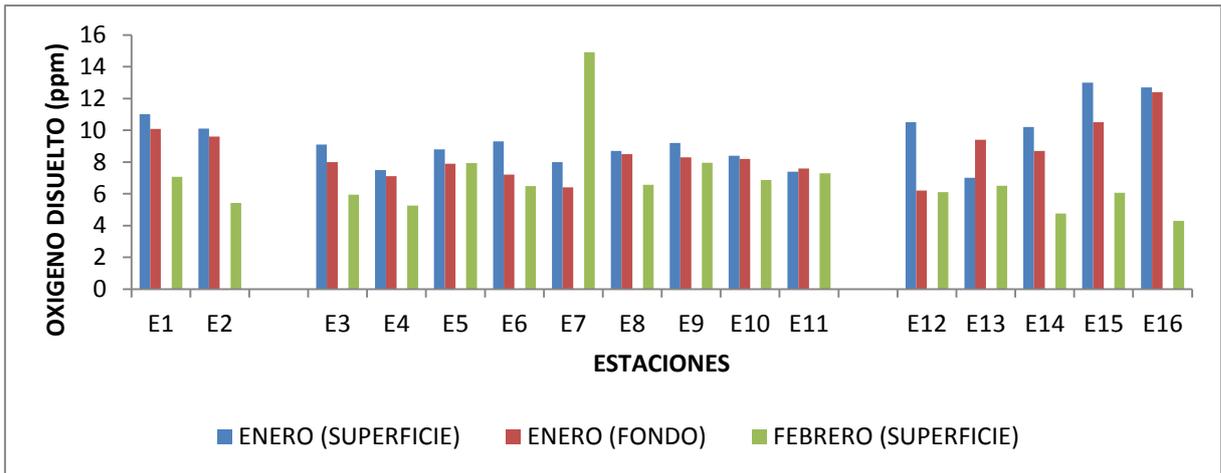
**Gráfico 19.** Variación de pH para la temporada de Nortes en el complejo lagunar estuarino Grande.



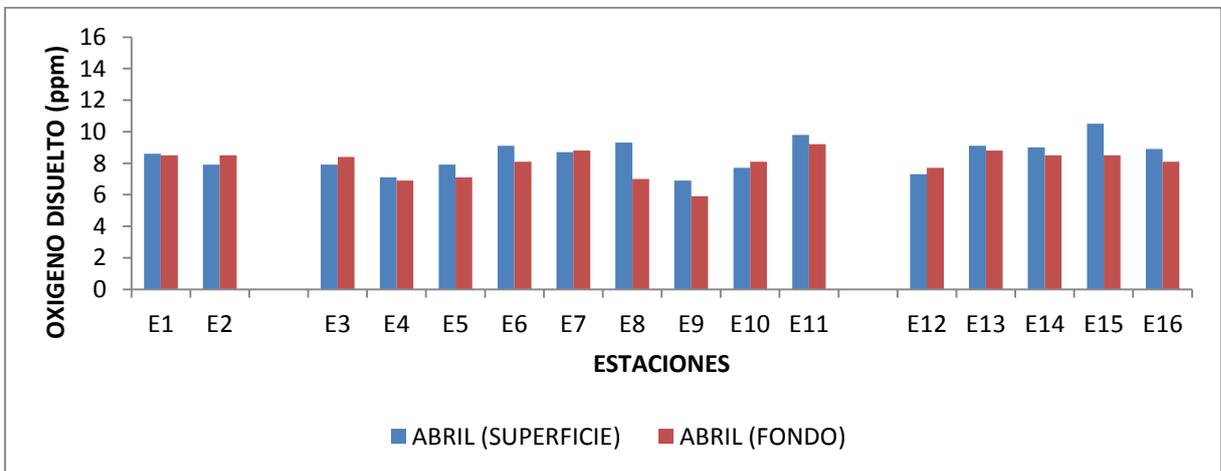
**Gráfico 20.** Variación de pH para la temporada de Secas en el complejo lagunar estuarino Grande.



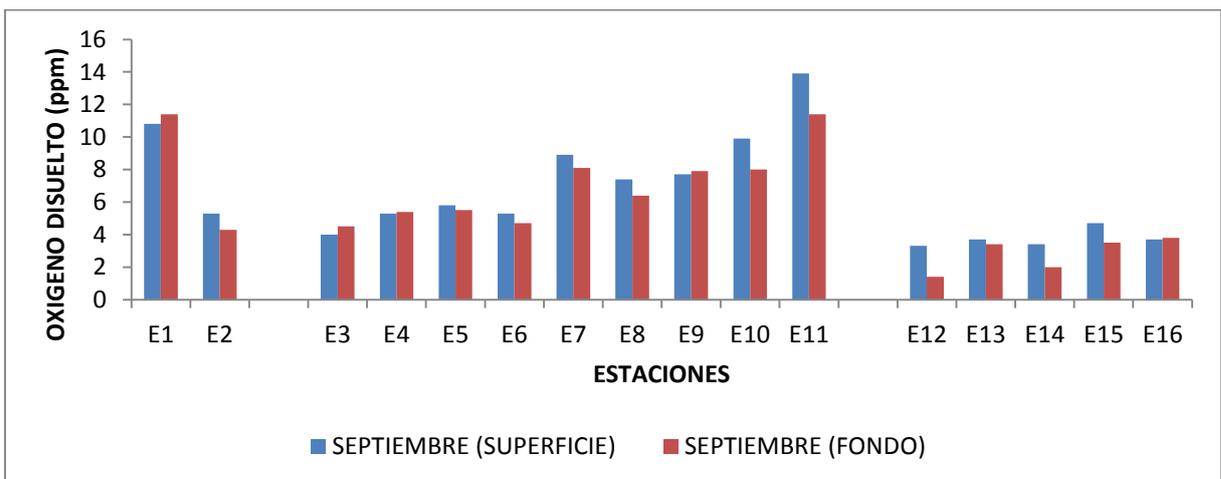
**Gráfico 21.** Variación de pH para la temporada de Lluvias en el complejo lagunar estuarino Grande.



**Gráfico 22.** Variación de la concentración de oxígeno disuelto para la temporada de Nortes en el complejo lagunar estuarino Grande.



**Gráfico 23.** Variación de oxígeno disuelto a lo largo del ciclo de colectas para el complejo lagunar estuarino Grande, durante la temporada de Secas.

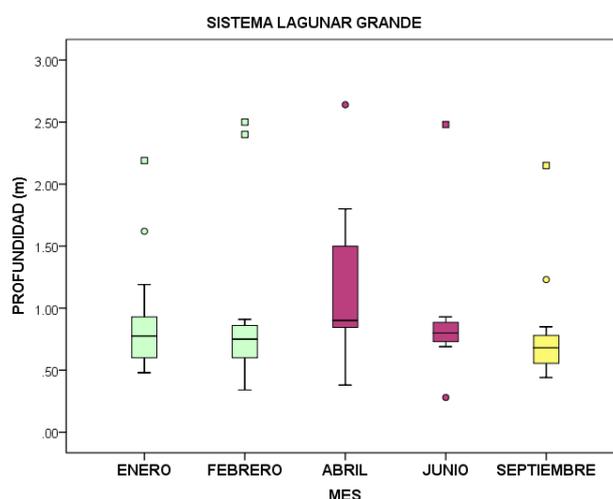


**Gráfico 24.** Se presenta la variación de oxígeno disuelto a lo largo del ciclo de colectas para el complejo lagunar estuarino Grande, durante la temporada de Lluvias.

## 9.5 Análisis estadístico de parámetros ambientales

### 9.5.1 Profundidad

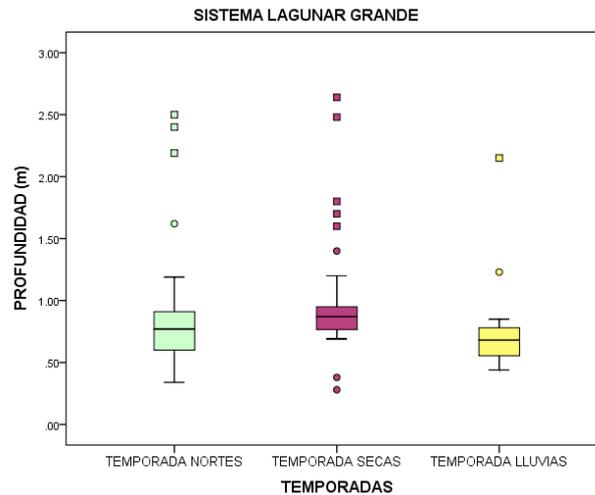
La profundidad de la barrera arenosa que comunica al mar con el sistema lagunar es poca o casi nula, ocasionando la poca influencia de la marea hacia el sistema, por lo que en los últimos años ha sido necesaria la utilización de maquinaria para conectar de manera artificial la barrera y de esta forma comunicar ambos ecosistemas. Sin embargo, en el periodo en el que se realizó este trabajo, la comunicación de la laguna con el agua marina se dio de manera natural como se dio en los muestreos de enero, febrero y abril, para los muestreos de junio y septiembre la barra se encontraba cerrada.



**Figura 28.** Distribución de los valores de profundidad obtenidos del sistema lagunar Grande, en todo el periodo de muestreo.

En el mes de Enero (Figura 28), se registró un dato atípico de profundidad de 1.62 m que corresponde a la estación A mitad del Caño, y un valor extraordinario de 2.19 m localizado en la estación Entre la Barra y el Vado, con una  $M_e=0.7750$  m, y un promedio de  $\bar{X}=0.8900$  m; en febrero se registraron dos valores extraordinarios, el primero de 2.40 m y que corresponde a en la estación A mitad del Caño. El otro, fue de 2.50 m y corresponde a la estación Entre la Barra y el Vado, con una  $M_e=0.7500$  m y un  $\bar{X}=0.9031$  m; en abril tenemos un valor atípico de 2.64 m en la estación A mitad del Caño, con una  $M_e=0.9000$  m y un  $\bar{X}=1.1538$  m; para el mes de junio se registró un valor atípico de 0.28 m que corresponde a la estación El Carey y un valor extraordinario de 2.48 m en la estación A mitad del Caño con una  $M_e=0.8000$  m y un  $\bar{X}=1.1538$  m. Para septiembre, los valores

atípicos de 1.23 m corresponde a la estación Entre la Barra y el Vado, y un valor extraordinario entre la estación A mitad del Caño, con una  $M_e = 0.6800$  m y una  $\bar{X} = 0.7731$ . Las estaciones Entre la Barra y el Vado y A mitad del Caño, son las estaciones con mayor profundidad que existen en el complejo lagunar Grande por lo que en el análisis arrojan estos datos como valores extraordinarios o atípicos.



**Figura 29.** Distribución de los valores de profundidad para las temporadas en el sistema lagunar Grande.

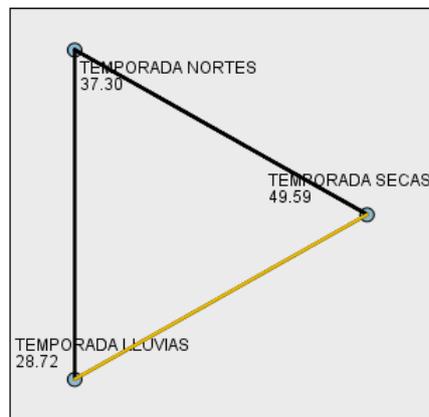
Al comparar para las tres temporadas, la profundidad, la prueba de Kruskal-Wallis indicó que existe diferencias significativas entre temporadas ( $p [0.008] < 0.05$ ). En temporada de Nortes (Figura 29), se registró un valor atípico de 1.62 m y un valor extraordinario de 2.40 m que corresponde a la estación A mitad del Caño, dos valores extraordinarios de 2.19 y 2.50 m en la estación Entre la Barra y el Vado; en la temporada de Secas existe tres valores atípicos de 0.38 m en la estación el Salado, 1.40 m en la estación Frente al Diamante y 0.28 m en la estación El Carey, y cinco valores extraordinarios de 1.80 m en la estación La Barra, 1.70 en la estación Entre la Barra y el Vado, 2.64 y 2.48 m que corresponden en la estación A mitad del Caño y 1.60 m en la estación Puerto Arturo. En la temporada de Lluvias, en la estación A mitad del Caño se registraron un valor atípico de 1.23 m y un valor extraordinario de 2.15. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de Nortes  $M_e = 0.7700$  m, temporada de Secas  $M_e = 0.8700$  m y temporada de Lluvias  $M_e = 0.6800$  m.

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 43) al comparar la profundidad en las tres temporadas a lo largo del sistema lagunar Grande indica que en la temporada de lluvias y secas existen diferencias significativas (Figura 30).

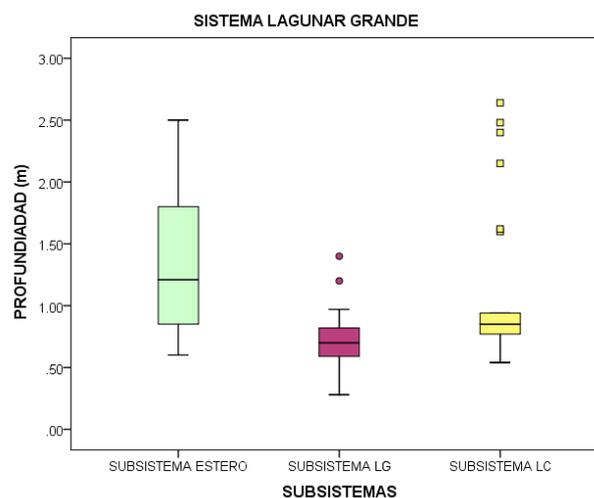
**Tabla 43.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
LLUVIAS-NORTES	8.578	7.113	1.206	.228	.683
LLUVIAS-SECAS	20.875	7.113	2.935	.003	.010
NORTES-SECAS	-12.297	5.808	-2.117	.034	.103

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se observa las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significancia es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 30.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS



**Figura 31.** Distribución de los valores de profundidad obtenidos del sistema lagunar Grande, por subsistemas.

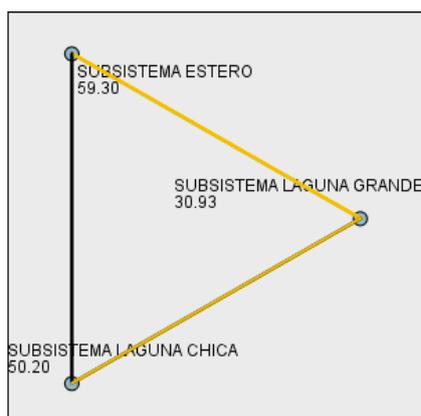
Al comparar la profundidad en los tres subsistemas del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indicó la existencia de diferencias significativas entre los tres subsistemas ( $p [0.0] < 0.05$ ). En subsistema LG (Figura 31), se registraron dos valores atípicos de 1.20 m en la estación El Diamante y 1.40 m en la estación Frente al Diamante; en el subsistema LC existen seis valores extraordinarios de 1.62, 2.40, 2.64 2.48, 2.15 m que corresponden a la estación A mitad del Caño, y 1.60 m en la estación Puerto Arturo. Los valores de la mediana para cada subsistema son las siguientes: subsistema Estero  $M_e=1.21m$ , subsistema LG  $M_e= 0.7 m$ , y subsistema LC  $M_e= 0.85 m$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 44) al comparar la profundidad de los tres subsistemas del complejo lagunar Grande, indica una similitud entre los subsistemas LC y Estero a lo largo del sistema lagunar (Figura 32).

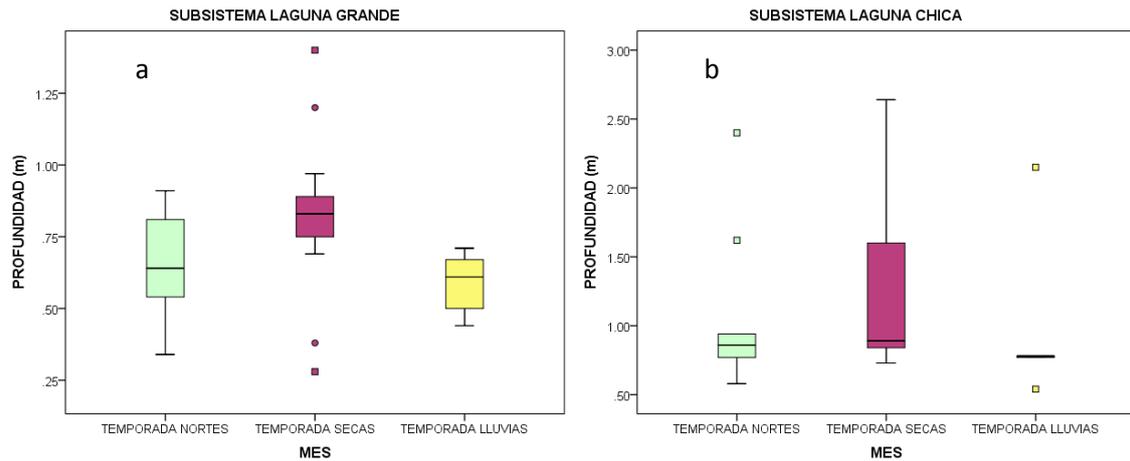
**Tabla 44.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
SUBSISTEMA LG-SUBSISTEMA LC	-19.267	5.795	-3.325	.001	.003
SUBSISTEMA LG-SUBSISTEMA ESTERO	28.367	8.122	3.493	.000	.001
SUBSISTEMA LC-SUBSISTEMA ESTERO	9.100	8.692	1.047	.295	.885

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 32.** Comparaciones entre parejas de SUBSISTEMAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de SUBSISTEMAS



**Figura 33.** Distribución de los valores de temperatura ambiental de cada subsistema: (a) subsistema LG y (b) subsistema LC, a lo largo del ciclo anual.

Al realizar la comparación de profundidad en las temporadas para cada subsistema se tiene lo siguiente:

Subsistema LG, en la prueba de ANOVA indicó diferencias significativas entre las temporadas ( $p [0.007] < 0.05$ ). En época de secas (Figura 33a), se tiene dos valores atípicos, uno de 0.38 m en la estación El Salado y otro de 1.20 m en la estación El Diamante, al igual se tiene dos valores extraordinarios uno de 0.28 m en la estación El Carey y uno de 1.40 m en la estación Frente al Diamante. En esta temporada tenemos los valores más bajos de profundidad, registrados a lo largo del ciclo anual.

Los valores de profundidad más altos a lo largo del ciclo anual se registraron en en el subsistema LG. Los valores de la mediana para cada temporada son los siguientes: temporada de nortes  $M_e=.6400$ , temporada de secas  $M_e=.8300$  y temporada de lluvias  $M_e=.6100$ .

Subsistema LC, en la prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas entre las temporadas del subsistema LC ( $p [0.390] > 0.05$ ). En época de nortes (Figura 33b), se obtuvieron dos valores extraordinarios de 1.62 y 2.40 m ambos corresponden a la Estación A mitad del Caño, en temporada de lluvias se tiene dos valores extraordinarios uno de 2.15 m en la estación A mitad del Caño, y uno de 0.54 m en la estación Salida de LC. Los valores de la mediana para cada temporada son los siguientes: temporada de nortes  $M_e=.8600$ , temporada de secas  $M_e=.8900$  y temporada de lluvias  $M_e=.7800$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 45) al comparar la profundidad entre las temporadas en el subsistema LG, indica que las temporadas en las que existe una similitud es la temporada nortes con la temporada de lluvias a lo largo del ciclo anual.

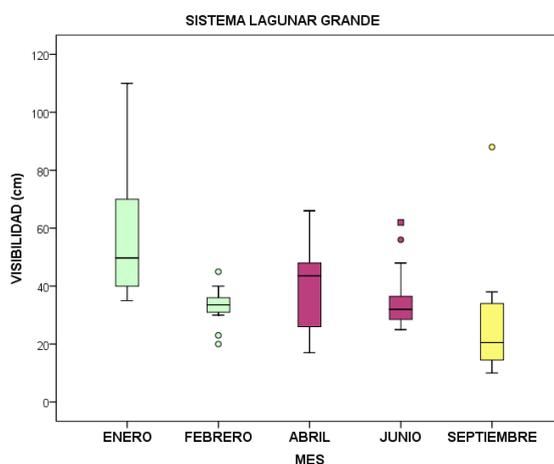
**Tabla 45.** Prueba Post Hoc Scheffe

COMPARACIONES MULTIPLES						
Profundidad						
(I)TEMPORADAS	(J)TEMPORADAS	DIFERENCIAS DE MEDIAS (I-J)	ERROR ESTANDAR	SIG.	INTERVALO DE CONFIANZA AL 95%	
					LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
TEMPORADA NORTES	SECAS	-.16722*	.06480	.045	-.3317	-.0028
	LLUVIAS	.07000	.07936	.680	-.1314	.2714
TEMPORADA SECAS	NORTES	.16722*	.06480	.045	.0028	.3317
	LLUVIAS	.23722*	.07936	.017	.0358	.4386
TEMPORADA LLUVIAS	NORTES	-.07000	.07936	.680	-.2714	.1314
	SECAS	-.23722*	.07936	.017	-.4386	-.0358

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

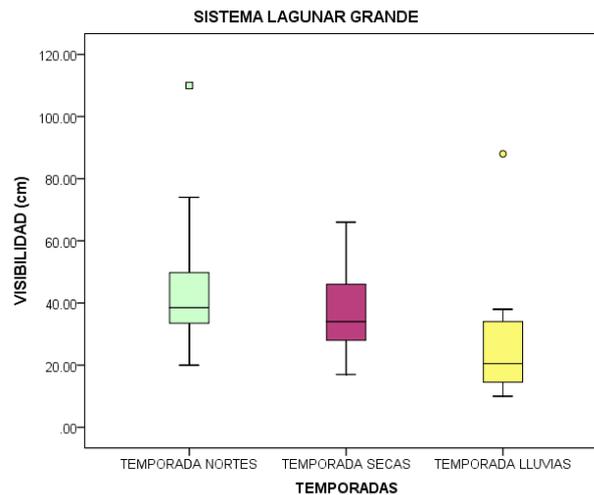
### 9.5.2 Visibilidad

Es importante recalcar que la técnica del disco de Secchi no proporciona una medida de ninguno de los componentes de la materia en suspensión; ya que la turbidez del agua en sistema lagunares puede mostrar de manera indirecta la presencia de partículas suspendidas en la columna de agua como los son la materia orgánica, fitoplancton y zooplancton. En estos cuerpos acuáticos la aportación de los ríos es un importante factor de baja visibilidad, ya que aportan agua con alto contenido de nutrientes y sedimento. Otros factores como la poca profundidad y los vientos, son determinantes para la valoración de la visibilidad.



**Figura 34.** Distribución de los valores de visibilidad obtenidos del sistema lagunar Grande, en todo el periodo de muestreo.

En el mes de enero (Figura 34), se registró una  $M_e=49.75$  y un  $\bar{X}=56.41$ ; en el mes de febrero existen tres valores atípicos de 20 cm en la estación La Barra, 23 cm en la estación El Diamante y 45 cm en la estación Punta Brava, una  $M_e=33.50$  y un  $\bar{X}=33.19$ ; en el mes de abril se registró una  $M_e=43.50$  y un  $\bar{X}=39.25$ ; en el mes de junio tenemos un valor atípico de 56 cm en la estación La Puerta y un valor extraordinario de 62 cm en la estación Entre la Barra y el Vado, con una  $M_e=32.00$  y un  $\bar{X}=35.31$ ; en septiembre tenemos un valor atípico de 88 cm en la estación La Barra y con una  $M_e=20.50$  y un  $\bar{X}=26.50$ .



**Figura 35.** Distribución de los valores de visibilidad obtenidos del sistema lagunar Grande, por temporadas.

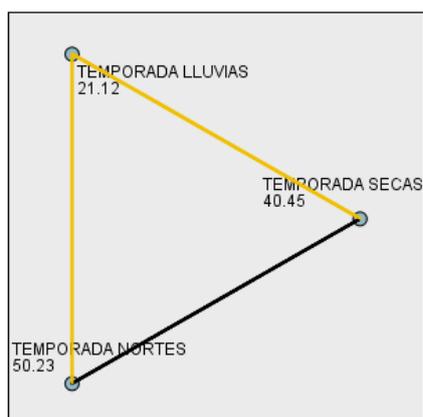
Al comparar la visibilidad en las tres temporadas a lo largo del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indico que existe diferencias significativas entre las temporadas ( $p [0.0] < 0.05$ ). En temporada de nortes (Figura 35), tenemos un valor extraordinario de 110 cm en la estación La Barra, en temporada de lluvias tenemos un valor atípico de 88 cm en la estación Entre la Barra y el Vado. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=38.50$ , temporada de secas  $M_e=34.00$  y temporada de lluvias  $M_e=20.50$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 46), al comparar la visibilidad en las tres temporadas a lo largo del complejo lagunar Grande, indica que existe una similitud entre la temporada de secas con la temporada de nortes (Figura 36).

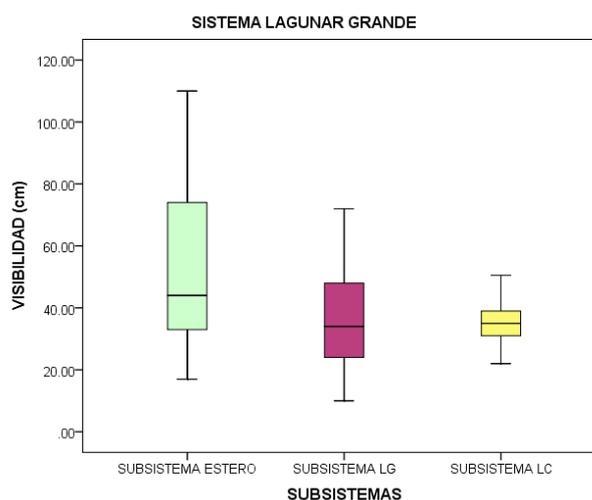
**Tabla 46.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	19.328	7.111	2.718	.007	.020
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA NORTES	29.109	7.111	4.094	.000	.000
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA NORTES	9.781	5.806	1.685	.092	.276

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.

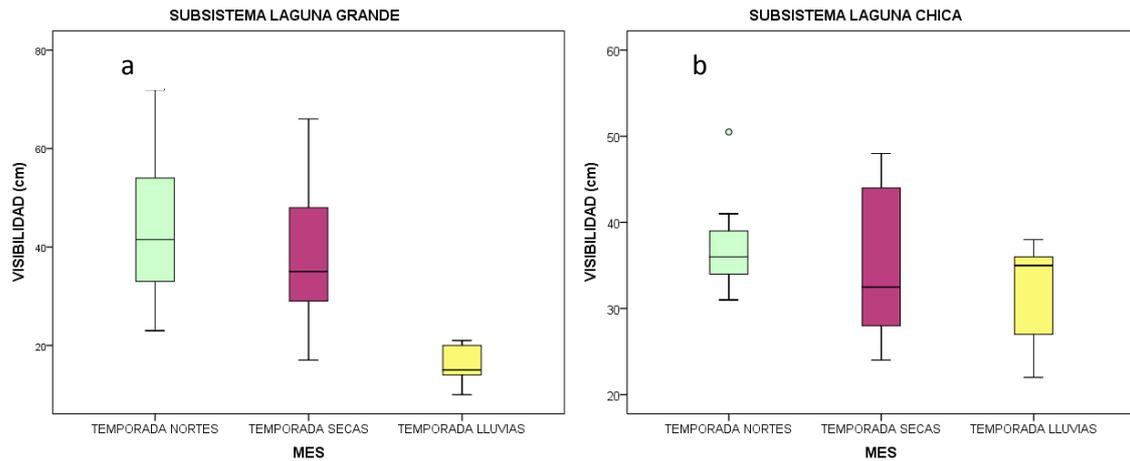


**Figura 36.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS.



**Figura 37.** Distribución de los valores de visibilidad obtenidos del sistema lagunar Grande, por subsistemas.

Al comparar la visibilidad en los tres subsistemas del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indicó que no existe diferencias significativas entre los tres subsistemas ( $p [0.308] > 0.05$ ). Los valores de la mediana para cada subsistema son las siguientes: subsistema Estero  $M_e=44.00$ , subsistema LG  $M_e=34.00$  y subsistema LC  $M_e=35.00$  (Figura 37).



**Figura 38.** Distribución de los valores de visibilidad obtenidos de: (a) subsistema LG y (b) subsistema LC, en las temporadas del ciclo anual.

Al realizar la comparación de visibilidad en las temporadas para cada subsistema. Subsistema LG, en la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencia significativa entre las temporadas ( $p [0.0] < 0.05$ ). Los valores de la mediana para cada temporada son los siguientes: temporada de nortes  $M_e=41.50$ , temporada de secas  $M_e=35.00$  y temporada de lluvias  $M_e=15.00$  (Figura 38a).

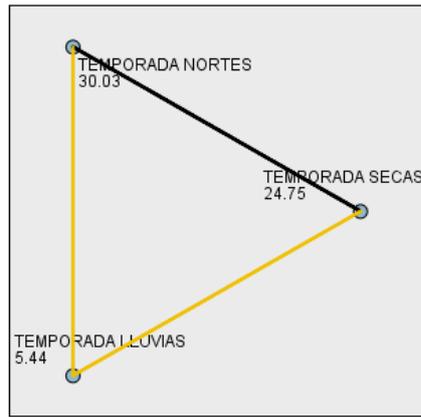
Subsistema LC, al realizar la prueba de ANOVA indica que no mostró diferencias significativas en las temporadas del subsistema LC ( $p [0.334] > 0.05$ ). En temporada de nortes tenemos un valor atípico de 51 cm corresponde a la estación Puerto Arturo. Los valores de la mediana para cada temporada son los siguientes: temporada de nortes  $M_e=36.00$ , temporada de secas  $M_e=32.50$  y temporada de lluvias  $M_e=35.00$  (Figura 38b).

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 47), al comparar la visibilidad entre las tres temporadas en el subsistema LG, indica una similitud entre la temporada de secas con la temporada de nortes (Figura 39).

**Tabla 47.** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LG

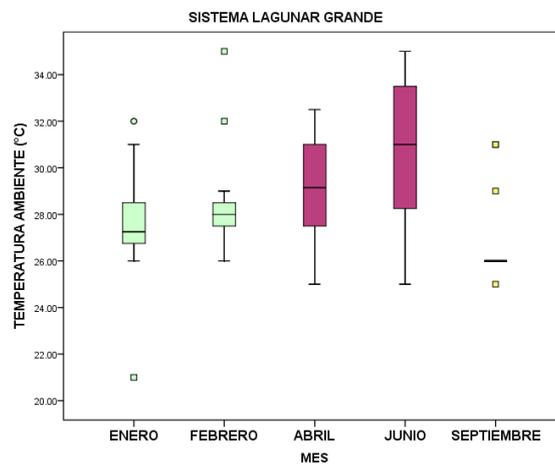
MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	19.306	5.359	3.602	.000	.001
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA NORTES	24.583	5.359	4.587	.000	.000
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA NORTES	5.278	4.376	1.206	.228	.683

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 39.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS.

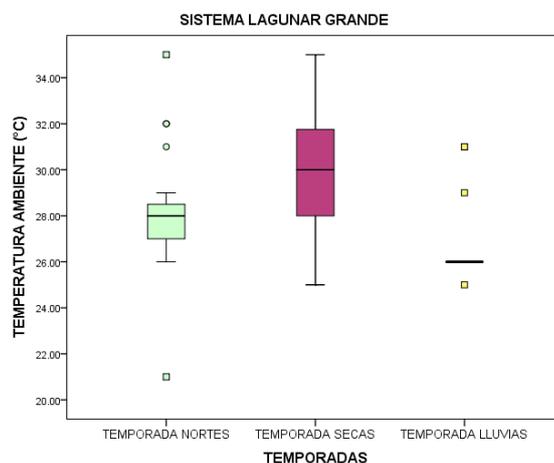
### 9.5.3 Temperatura ambiente



**Figura 40.** Distribución de los valores de temperatura ambiente obtenidos del sistema lagunar Grande, en todo el periodo de muestreo.

En el mes de enero (Figura 40), tenemos dos valores atípicos de 32°C uno corresponde a la estación El Salado y el otro a la estación El Carey, tenemos un valor extraordinario de 21°C en la estación La Barra, con una  $M_e=27.25$  y un  $\bar{X}=27.72$ ; en el mes de febrero existen dos valores extraordinarios de 32°C en la estación Puerto Arturo y 35°C en la estación Salida de LC, con una  $M_e=28.50$  y un  $\bar{X}=28.00$ ; en el mes de abril se registró una  $M_e=29.15$  y un  $\bar{X}=29.05$  y en junio se registró una  $M_e=31.00$  y un  $\bar{X}=30.97$ ; en el mes de septiembre tenemos cuatro valores extraordinarios de 29°C en la estación La Barra, 25°C en la estación A mitad del Caño y dos de 31°C que corresponden a las estaciones Entre la Barra y el Vado y Salida de la Puerta con una  $M_e=26.00$  y un  $\bar{X}=26.75$ . Los valores extraordinarios y atípicos corresponden a los valores más bajos y más altos de la

temperatura ambiente al momento del muestreo los cuales se tomaron en diferentes días y a diferentes horas, el 1er día se muestreo el subsistema Estero, el 2do día se muestreo el subsistema LG y el 3er día se muestreo el subsistema LC.



**Figura 41.** Distribución de los valores de temperatura ambiente obtenidos del sistema lagunar Grande, por temporadas.

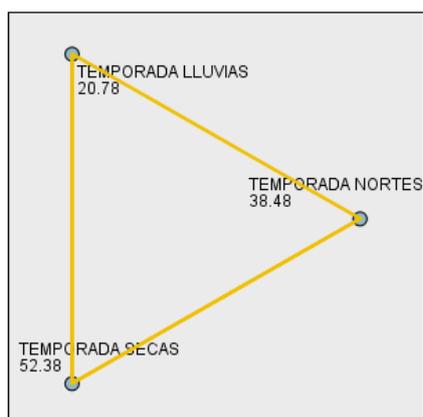
Al comparar la temperatura ambiente en las tres temporadas a lo largo del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indico que existe diferencias significativas entre las temporadas ( $p [0.0] < 0.05$ ). En temporada de nortes (Figura 41), existen cuatro valores atípicos de 31°C estación Fondo LC y tres de 32°C que corresponden a las estaciones El Salado, El Carey y Puerto Arturo, existen dos valores extraordinarios de 21°C en la estación La Barra y 35°C en la estación Salida de LC; en temporada de lluvias tenemos cuatro valores extraordinarios de 29°C en la estación La Barra, 25°C en la estación A mitad del Caño y dos de 31°C uno en la estación entre la barra y el Vado y el otro en la estación salida de La Puerta. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=28.00$ , temporada de secas  $M_e=30.00$  y temporada de lluvias  $M_e=26.00$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 48), al comparar la temperatura ambiente entre las tres temporadas a lo largo del complejo lagunar Grande, indica que existe una disimilitud entre las tres temporadas del ciclo anual (Figura 42).

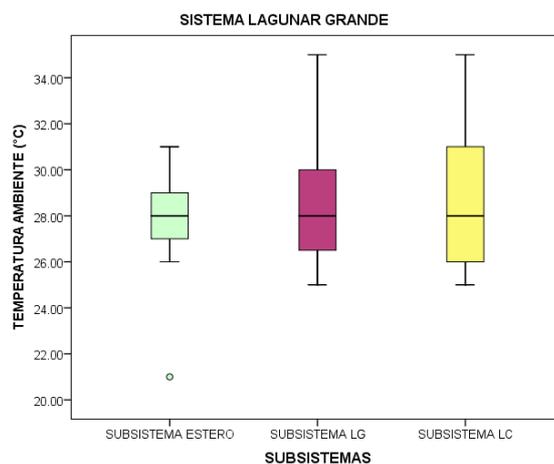
**Tabla 48.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA NORTES	17.703	7.053	2.510	.012	.036
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	31.594	7.053	4.480	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-13.891	5.759	-2.412	.016	.048

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas



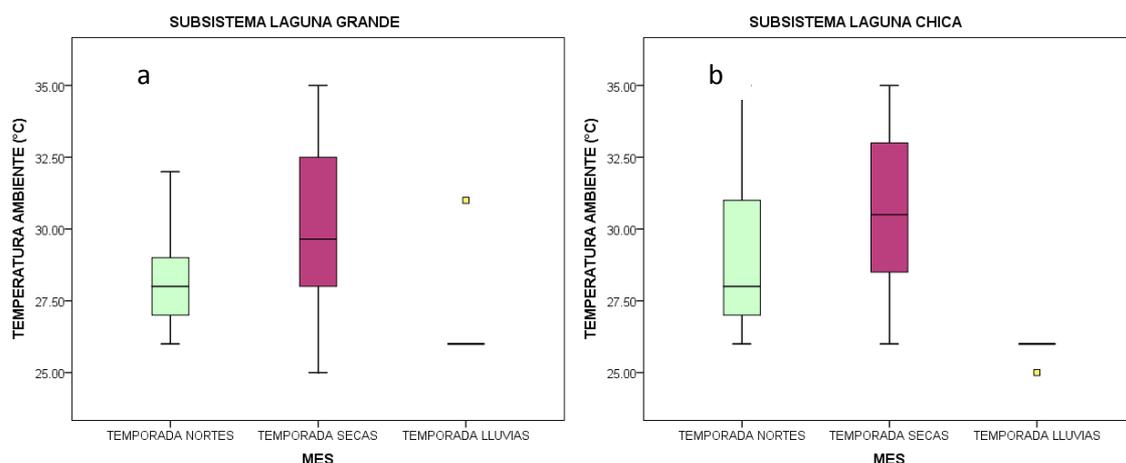
**Figura 42.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS.



**Figura 43.** Distribución, por subsistemas, de los valores de temperatura ambiente obtenidos del sistema lagunar Grande.

Al comparar la temperatura ambiente en los tres subsistemas del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indicó que no existe diferencias significativas entre los subsistemas ( $p [0.907] > 0.05$ ). En el subsistema El Estero (Figura 43), se tiene un valor extraordinario de 21°C en la estación La Barra. Los valores de la

mediana para cada subsistema son las siguientes: subsistema Estero  $M_e=28.00$ , subsistema LG  $M_e=28.00$  y subsistema LC  $M_e=28.00$ .



**Figura 44.** Distribución, de los valores de temperatura ambiente obtenidos de: (a) subsistema LG y (b) subsistema LC, en las temporadas del ciclo anual.

Al comparar la temperatura ambiente en las temporadas para cada subsistema. Subsistema LG, en la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencia significativa entre las temporadas ( $p [0.001] < 0.05$ ). En temporada de lluvias (Figura 44a), existe un valor extraordinario de 31°C en la estación Salida de la Puerta. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=28.00$ , temporada de secas  $M_e=29.65$  y temporada de lluvias  $M_e=26.00$ .

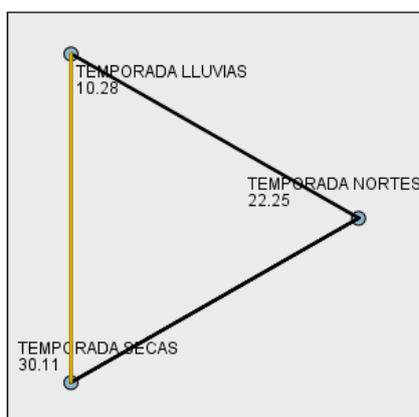
Subsistema LC, la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencia significativa de ( $p [0.004] < 0.05$ ). En temporada de lluvias (Figura 44b), se tiene un valor extraordinario de 25°C en la estación A mitad del Caño. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=28.00$ , temporada de secas  $M_e=30.50$  y temporada de lluvias  $M_e=26.00$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 49), al comparar la temperatura ambiente entre las tres temporadas en el subsistema LG, indica una disimilitud entre la temporada de lluvias con la temporada de secas (Figura 45).

**Tabla 49.** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LG

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA NORTES	11.972	5.310	2.255	.024	.072
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	19.833	5.310	3.735	.000	.001
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-7.861	4.336	-1.813	.070	.209

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



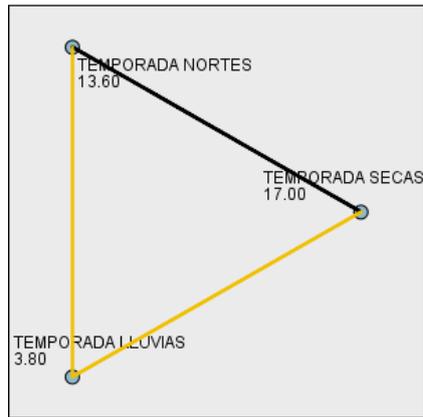
**Figura 45.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADA. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADA

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 50) al comparar la temperatura ambiente entre las tres temporadas en el subsistema LC, indica que existe una similitud entre las temporada de norte con la temporada de secas (Figura 46).

**Tabla 50.** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LC

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA NORTES	9.800	5.310	2.459	.014	.042
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	13.200	5.310	3.312	.001	.003
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-3.400	3.254	-1.045	.296	.888

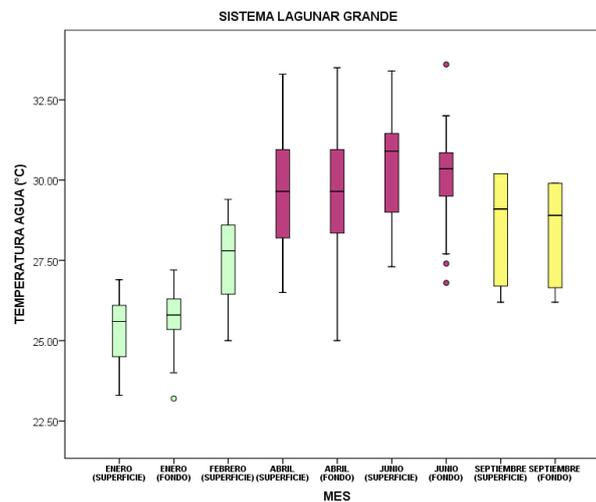
Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 46.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADA.  
Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADA

### 9.5.4 Temperatura del agua

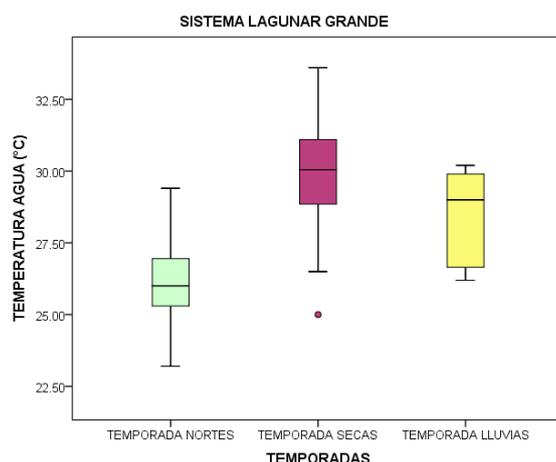
La variación de la temperatura del agua depende de la oscilación del fotoperiodo solar (variación día/noche) y de la estacionalidad anual. En temporada de nortes la temperatura del agua es más fría que la temperatura ambiente, en temporada de secas la temperatura del agua es más cálida que la temperatura ambiente, y en temporada de lluvias la temperatura del agua es semejante que la temperatura ambiente.



**Figura 47.** Distribución de los valores de temperatura del agua obtenidos del sistema lagunar Grande, en todo el periodo de muestreo.

En el mes de enero (Figura 47) se tiene un valor atípico de 23.2°C en la estación La Barra, con una  $M_e$  (superficie)=25.60,  $M_e$  (fondo)=25.80 y un  $\bar{X}$  (superficie)=25.37,  $\bar{X}$  (fondo)=25.69; en el mes de febrero se registró una  $M_e$  (superficie)=27.80, y un  $\bar{X}$  (superficie)=27.80; en el mes de abril se registró una  $M_e$  (superficie)=29.65,  $M_e$

(fondo)=29.65 y un  $\bar{X}_{(superficie)}=29.76$ ,  $\bar{X}_{(fondo)}=29.69$ ; en el mes de junio tenemos tres valores atípicos de 26.8°C en la estación La Barra, 27.4°C en la estación El Salado y 33.6°C en la estación salida de LC, con una  $M_e_{(superficie)}=30.90$ ,  $M_e_{(fondo)}=30.35$  y un  $\bar{X}_{(superficie)}=30.43$ ,  $\bar{X}_{(fondo)}=30.08$ ; en el mes de septiembre se registró una  $M_e_{(superficie)}=29.10$ ,  $M_e_{(fondo)}=28.90$  y un  $\bar{X}_{(superficie)}=28.64$ ,  $\bar{X}_{(fondo)}=28.46$ .



**Figura 48.** Distribución de los valores de temperatura del agua obtenidos del sistema lagunar Grande, por temporadas.

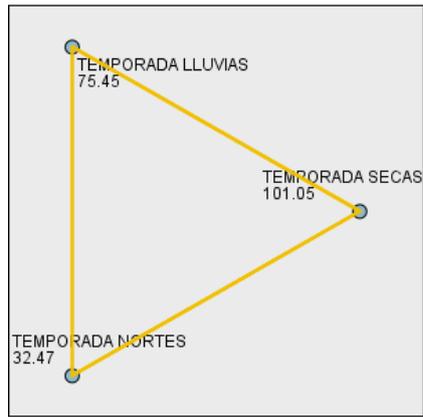
Al comparar la temperatura del agua en las tres temporadas a lo largo del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indicó que existe diferencias significativas entre las temporadas ( $p [0.0] < 0.05$ ). En temporada de secas (Figura 48), se tiene un valor atípico de 25°C en la estación La Barra. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=26.00$ , temporada de secas  $M_e=30.05$  y temporada de lluvias  $M_e=29.00$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 51), al comparar la temperatura del agua entre las tres temporadas a lo largo del complejo lagunar Grande, indica una disimilitud entre las tres temporadas del ciclo anual (Figura 49).

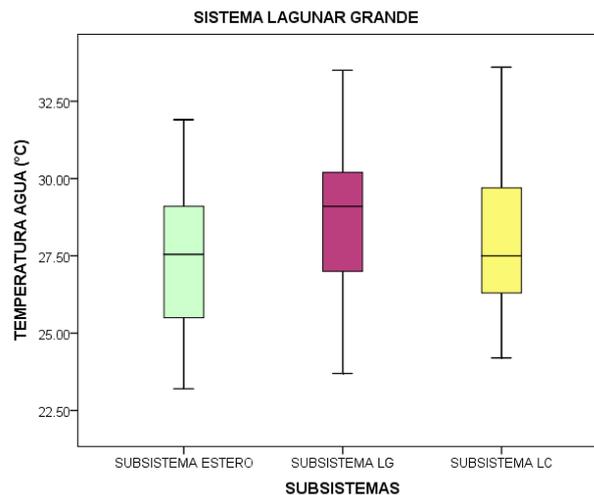
**Tabla 51.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-42.984	9.517	-4.517	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-68.578	7.962	-8.613	.000	.000
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	25.594	9.028	2.835	.005	.014

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 49.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS.



**Figura 50.** Distribución de los valores de temperatura del agua obtenidos del sistema lagunar Grande, por subsistemas.

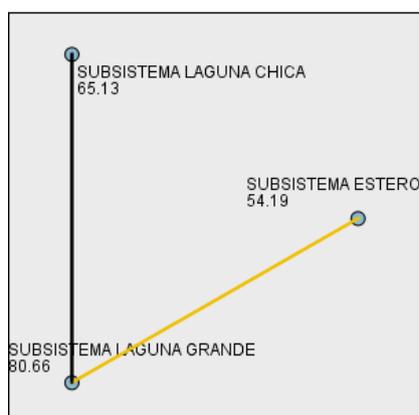
Al comparar la temperatura del agua entre los tres subsistemas del sistema lagunar grande la prueba de Kruskal-Wallis indicó que existe diferencias significativas entre los subsistemas ( $p [0.019] < 0.05$ ). Los valores de la mediana para cada subsistema son las siguientes: subsistema Estero  $M_e=27.55$ , subsistema LG  $M_e=29.10$  y subsistema LC  $M_e=27.50$  (Figura 50).

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 52), al comparar la temperatura del agua entre los tres subsistemas del complejo lagunar Grande, existe una disimilitud entre el subsistema Estero y el subsistema LG a lo largo del sistema lagunar (Figura 51).

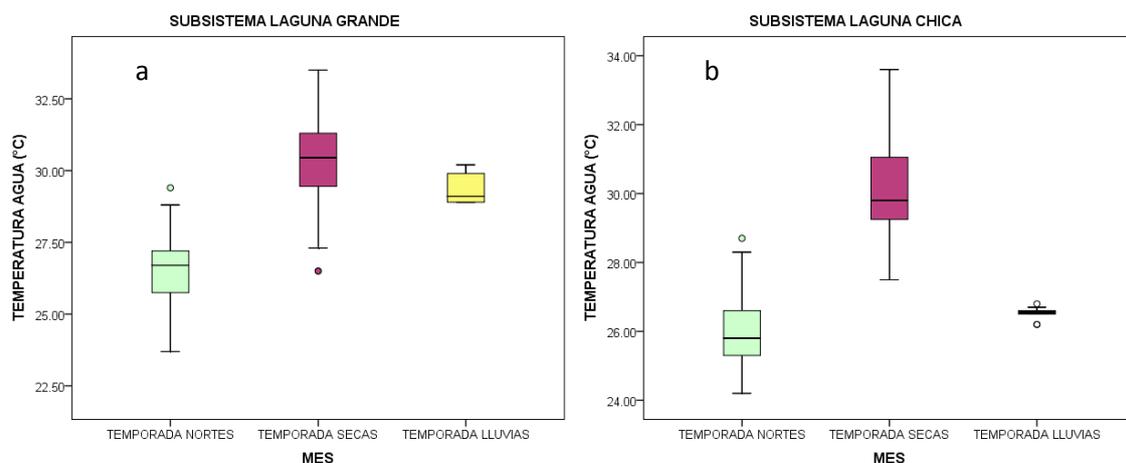
**Tabla 52.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
SUBSISTEMA ESTERO-SUBSISTEMA LC	-10.939	11.630	-.941	.347	1.000
SUBSISTEMA ESTERO-SUBSISTEMA LG	-26.466	10.866	-2.436	.015	.045
SUBSISTEMA LC-SUBSISTEMA LG	15.527	7.753	2.003	.045	.136

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 51.** Comparaciones entre parejas de SUBSISTEMAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de SUBSISTEMAS



**Figura 52.** Distribución, de los valores de temperatura del agua obtenidos de: (a) subsistema LG y (b) subsistema LC, en las temporadas del ciclo anual.

Al comparar la temperatura del agua entre las temporadas se determinó que: el subsistema LG, al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis presenta diferencias significativas de ( $p [0.0] < 0.05$ ), en la temporada de Nortes (Figura 52a), registrándose, además, dos valores atípicos de 29.40 °C, uno en la estación El Carey y el otro en la estación Frente al Diamante. En la temporada de secas se registraron dos valores atípicos de 26.50°C ambos en la estación La Puerta. Los

valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=26.70$  °C, temporada de secas  $M_e=30.45$  °C y temporada de lluvias  $M_e=29.10$  °C.

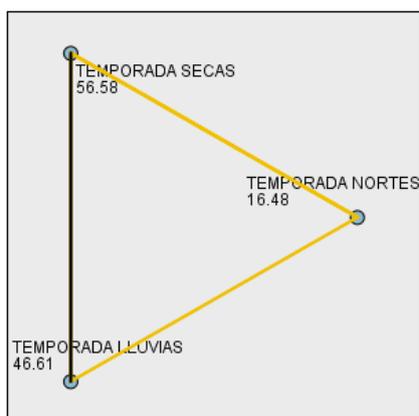
Subsistema LC, la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas de ( $p [0.0] < 0.05$ ). En temporada de nortes (Figura 52b), tenemos un valor atípico de  $28.70^{\circ}\text{C}$  en la estación Salida de La Puerta; en temporada de lluvias tenemos tres valores atípicos dos de  $26.20^{\circ}\text{C}$  en la estación A mitad del Caño y uno de  $26.80^{\circ}\text{V}$  en la estación Salida de LC. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=25.80$ , temporada de secas  $M_e=29.80$  y temporada de lluvias  $M_e=26.55$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 53), al comparar la temperatura del agua entre las tres temporadas para el subsistema LG, indica que existe una similitud entre la temporada de lluvias con la temporada de secas (Figura 53).

**Tabla 53.** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LG

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-30.130	7.155	-4.211	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-40.102	5.986	-6.699	.000	.000
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	9.972	6.788	1.469	.142	.425

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



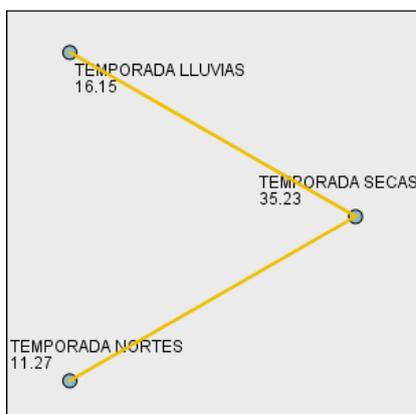
**Figura 53.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS

Al comparar la temperatura del agua entre las tres temporadas en el subsistema LC, por medio del análisis de prueba Post Hoc (Tabla 54) se indica que la temporada de nortes con la temporada de lluvias existe una similitud (Figura 54).

**Tabla 54.** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LC

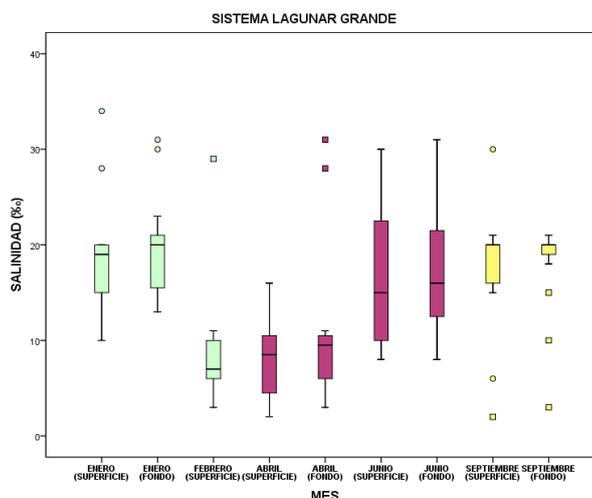
MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-4.883	5.359	-.911	.362	1.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-23.958	4.484	-5.344	.000	.000
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	19.075	5.084	3.752	.000	.001

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



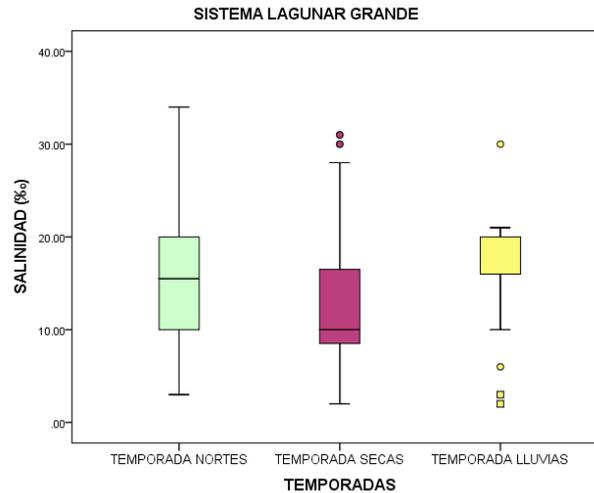
**Figura 54.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS.

### 9.5.5 Salinidad



**Figura 55.** Distribución de los valores de salinidad obtenidos del sistema lagunar Grande, en todo el periodo de muestreo.

En el mes de enero a nivel superficial (Figura 55) se observan dos valores atípicos de salinidad, el primero de 28 ‰ en la estación La Barra y el segundo de 34 ‰ en la estación Entre La Barra y el Vado. A nivel del fondo se tienen dos valores atípicos, de 30 ‰ en la estación La Barra y 31‰ en la estación Entre La Barra y el Vado, con una  $M_e$  (superficie)=19.00 ‰,  $M_e$  (fondo)= 20.00 ‰ y una  $\bar{X}$  (superficie)=18.88 ‰,  $\bar{X}$  (fondo)=19.8 ‰; en el mes de febrero tenemos un valor extraordinario de 29 ‰ en la estación La Barra, con una  $M_e$  (superficie)=7.00 ‰,  $\bar{X}$  (superficie)=8.38 ‰; en el mes de abril tenemos dos valores extraordinarios de 31‰ en la estación La Barra y 28 ‰ en la estación entre La Barra y el Vado, con una  $M_e$  (superficie)=17.93 ‰,  $M_e$  (fondo)=9.50 ‰ y un  $\bar{X}$  (superficie)=8.25 ‰,  $\bar{X}$  (fondo)=10.75 ‰; el mes de junio registró una  $M_e$  (superficie)=15.00 ‰,  $M_e$  (fondo)=16.00 ‰ y un  $\bar{X}$  (superficie)=19.94 ‰,  $\bar{X}$  (fondo)=17.56 ‰; en septiembre se registraron dos valores atípicos, uno de 6 ‰ en la estación La Barra y el otro de 30 ‰ que corresponde a la estación La Puerta, también se registraron cuatro valores extraordinarios, de 2 ‰ en la estación entre La Barra y el Vado, 10 ‰ en la estación La Barra, 3 ‰ en la estación entre La Barra y el Vado y 15 ‰ en la estación El Huanal, con una  $M_e$  (superficie)=20.00 ‰,  $M_e$  (fondo)=20.00 ‰ y un  $\bar{X}$  (superficie)=17.69 ‰,  $\bar{X}$  (fondo)=18.06 ‰. Los valores extraordinarios y atípicos más altos se sitúan en el estero y corresponden a las temporadas de nortes y secas, debido a que al estar en contacto directo con el mar se presenta una mayor influencia del agua marina, por lo que en esta zona tiene la característica de salinidad mayores, en temporada de Lluvias en el estero tenemos la menor concentración de salinidad que pudiera deberse a que en este mes de muestreo la barra se encontraba cerrada y por lo tanto el sistema no se encontraba influenciado por la entrada de agua marina.



**Figura 56.** Distribución de los valores de salinidad por temporadas del sistema lagunar Grande.

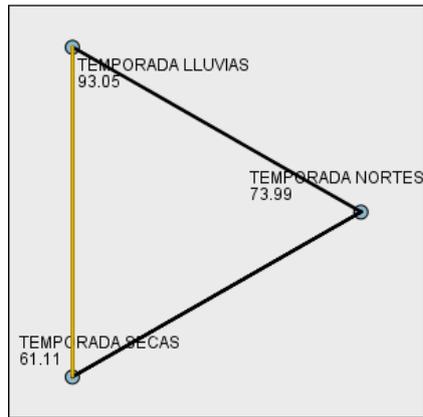
Al comparar la salinidad entre las tres temporadas, la prueba de Kruskal-Wallis indicó que existe diferencias significativas ( $p [0.002] < 0.05$ ). En la temporada de secas (Figura 56), se registraron cuatro valores atípicos, dos de 30 ‰ y dos de 31 ‰ que corresponden a las estaciones La Barra y entre La Barra y el Vado; en temporada de lluvias existen dos valores atípicos de 6 ‰ en la estación La Barra y 30 ‰ en la estación La Puerta y tenemos dos valores extraordinarios de 2 y 3 ‰ ambos en la estación Entre La Barra y el Vado. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de Nortes  $M_e=15.50$  ‰, temporada de Secas  $M_e=10.00$  ‰ y temporada de Lluvias  $M_e=20.00$  ‰.

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 55), al comparar la salinidad entre las tres temporadas a lo largo del complejo lagunar Grande, indica que existe una disimilitud entre la temporada de secas con la temporada de lluvias (Figura 57).

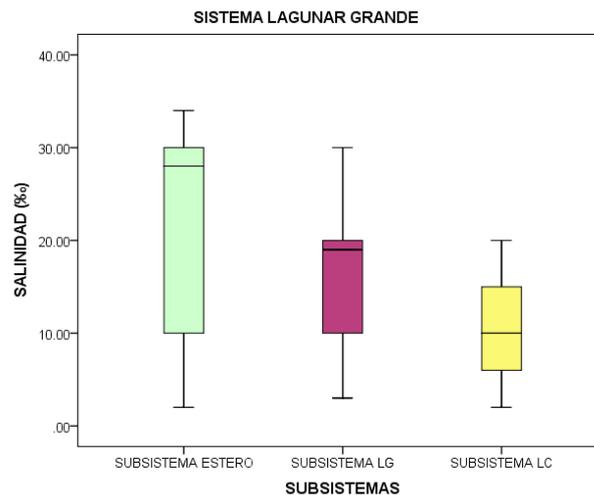
**Tabla 55** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA NORTES	12.880	7.920	1.626	.104	.312
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA LLUVIAS	-31.938	8.981	-3.556	.000	.001
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-19.057	9.466	-2.013	.044	.132

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas



**Figura 57.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS



**Figura 58.** Distribución de los valores de salinidad obtenidos del sistema lagunar Grande, por subsistemas.

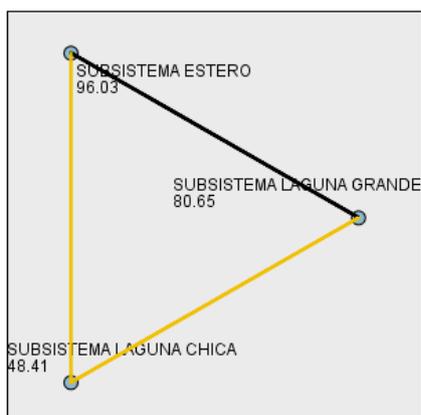
Al comparar la salinidad entre los tres subsistemas del sistema lagunar grande la prueba de Kruskal-Wallis indico que existe diferencias significativas entre los subsistemas ( $p [0.0] < 0.05$ ). Los valores de la mediana para cada subsistema son las siguientes: subsistema Estero  $M_e=28.00$ , subsistema LG  $M_e=19.00$  y subsistema LC  $M_e=10.00$  (Figura 58).

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 56), al comparar la temperatura del agua en los tres subsistemas del complejo lagunar Grande, indica que el subsistema LG y subsistema Estero son los únicos subsistemas en los que existe una similitud a lo largo del complejo lagunar (Figura 59).

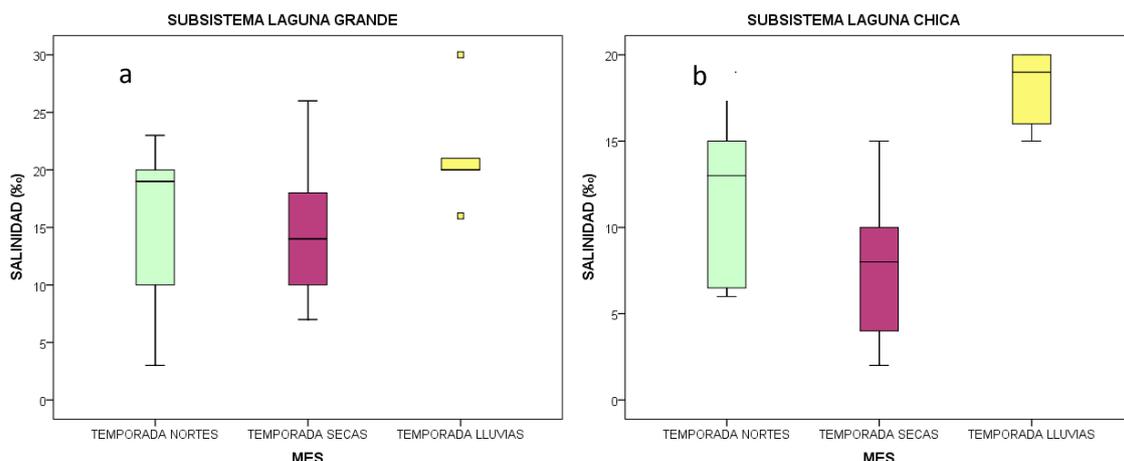
**Tabla 56.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
SUBSISTEMA LC-SUBSISTEMA LG	32.243	7.712	4.181	.000	.000
SUBSISTEMA LC-SUBSISTEMA ESTERO	47.617	11.568	4.116	.000	.000
SUBSISTEMA LG-SUBSISTEMA ESTERO	15.373	10.809	1.422	.155	.465

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas



**Figura 59.** Comparaciones entre parejas de SUBSISTEMAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de SUBSISTEMAS.



**Figura 60.** Distribución de los valores de salinidad del (a) subsistema LG y (b) subsistema LC, en las temporadas del ciclo anual.

Al realizar la comparación de la salinidad en las temporadas para cada subsistema.

Subsistema LG, la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas de (p [0.0] < 0.05), en temporada de lluvias (Figura 60a), tenemos dos valores extraordinarios de 30 ‰ en la estación La Puerta y 16 ‰ en la estación El Salado. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes:

temporada de nortes  $M_e=19.00$ , temporada de secas  $M_e=14.00$  y temporada de lluvias  $M_e=20.00$

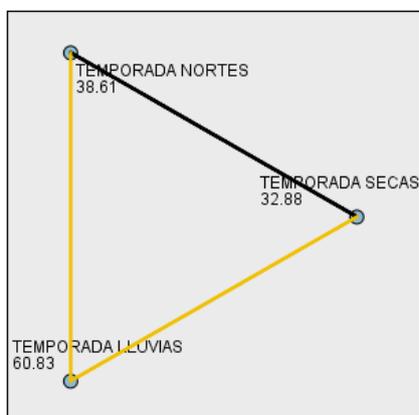
Subsistema LC, la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas de ( $p [0.0] < 0.05$ ). Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=13.00$ , temporada de secas  $M_e=8.00$  y temporada de lluvias  $M_e=19.00$  (Figura 60b).

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 57), al comparar la temperatura del agua entre los tres subsistemas en el subsistema LG, entre la temporada de secas y la temporada de nortes existe una similitud (Figura 61).

**Tabla 57.** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LG

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA NORTES	5.736	5.905	.971	.331	.994
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA LLUVIAS	-27.958	6.696	-4.175	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-22.222	7.058	-3.148	.002	.005

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



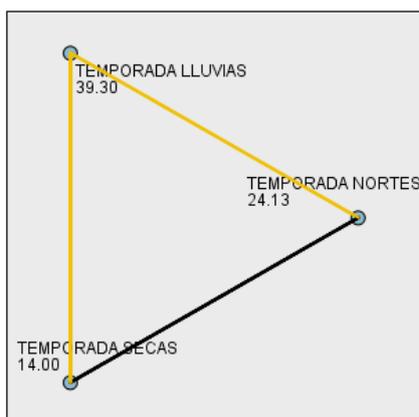
**Figura 61.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS  
Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 58), al comparar la temperatura del agua entre los tres subsistema en el subsistema LC, indica que existe una similitud entre la temporada de secas con la temporada de nortes (Figura 62).

**Tabla 58.** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LC

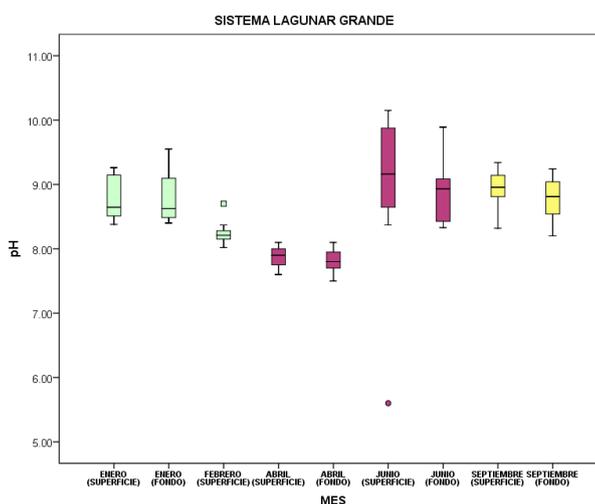
MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA NORTES	10.133	4.448	2.278	.023	.068
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA LLUVIAS	-25.300	5.044	-5.016	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-15.167	5.317	-2.853	.004	.013

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 62.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS.

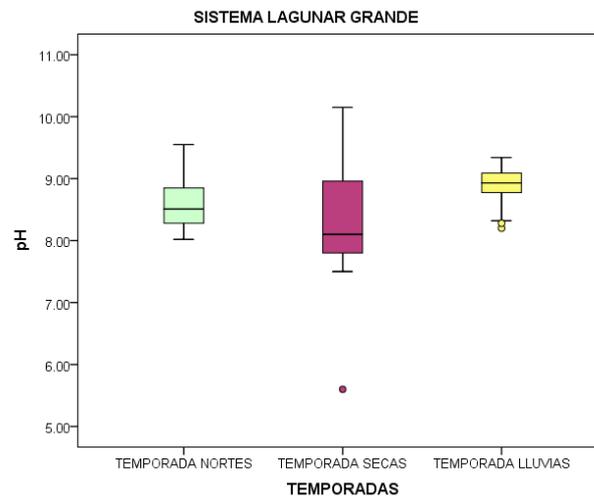
### 9.5.6 Potencial de hidrogeno



**Figura 63.** Distribución de los valores de pH obtenidos del sistema lagunar Grande, en todo el periodo de muestreo.

En el mes de enero (Figura 63), se registró una  $M_e$  (superficie)= 8.6450,  $M_e$  (fondo)= 8.6250 y un  $\bar{X}$  (superficie)=8.7800,  $\bar{X}$  (fondo)=8.7744; en el mes de febrero tenemos un valor extraordinario de 8.70 que corresponde a la estación El Carey, con una  $M_e$  (superficie)= 8.2100,  $\bar{X}$  (superficie)=8.2325; en el mes de abril se registró una  $M_e$

(superficie)= 7.800,  $M_e$  (fondo)= 9.1600 y un  $\bar{X}$  (superficie)=7.8125,  $\bar{X}$  (fondo)=9.0575; en el mes de junio tenemos un valor atípico de 5.60 en la estación Entre La Barra y el Vado, con una  $M_e$  (superficie)= 9.1600,  $M_e$  (fondo)= 8.9300 y un  $\bar{X}$  (superficie)=9.0575,  $\bar{X}$  (fondo)=8.8863; en septiembre se registró una  $M_e$  (superficie)= 8.9550,  $M_e$  (fondo)= 8.8100 y un  $\bar{X}$  (superficie)=8.9650,  $\bar{X}$  (fondo)=8.7831



**Figura 64.** Distribución de los valores de pH obtenidos del sistema lagunar Grande, por temporadas.

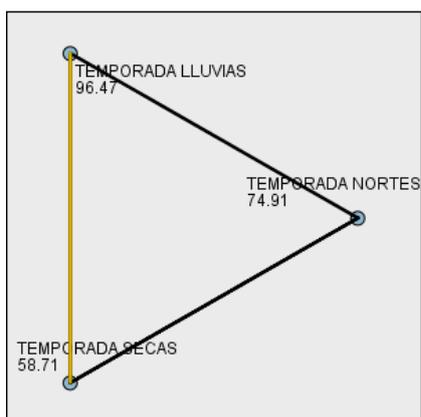
Al comparar el pH en las tres temporadas a lo largo del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indicó que existe diferencias significativas entre las temporadas ( $p [0.0] < 0.05$ ). En temporada de secas (Figura 64), existen un valor atípico de 5.60 en la estación Entre La Barra y el Vado; en temporada de lluvias tenemos dos valores atípicos de 8.20 en la estación La Puerta y de 8.28 en la estación El Carey. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=8.5100$ , para la temporada de secas  $M_e=8.1000$  y para la temporada de lluvias  $M_e=8.9300$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 59) al comparar el pH entre las tres temporadas a lo largo del complejo lagunar Grande, indica que existe una disimilitud entre la temporada de secas y la temporada de lluvias (Figura 65).

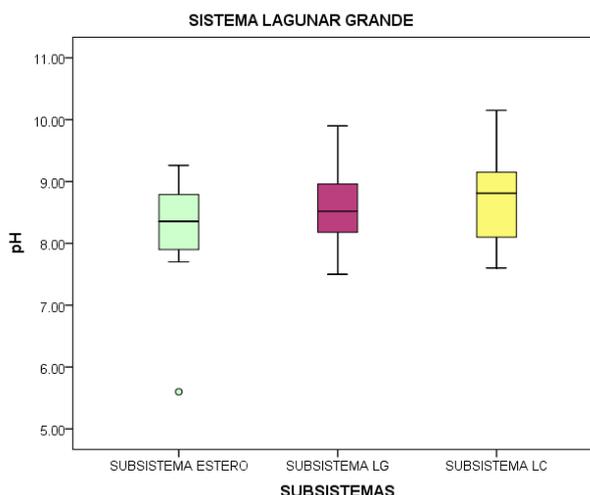
**Tabla 59.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA NORTES	16.195	7.963	2.034	.042	.126
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA LLUVIAS	-37.758	9.029	-4.182	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-21.562	9.517	-2.266	.023	.070

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



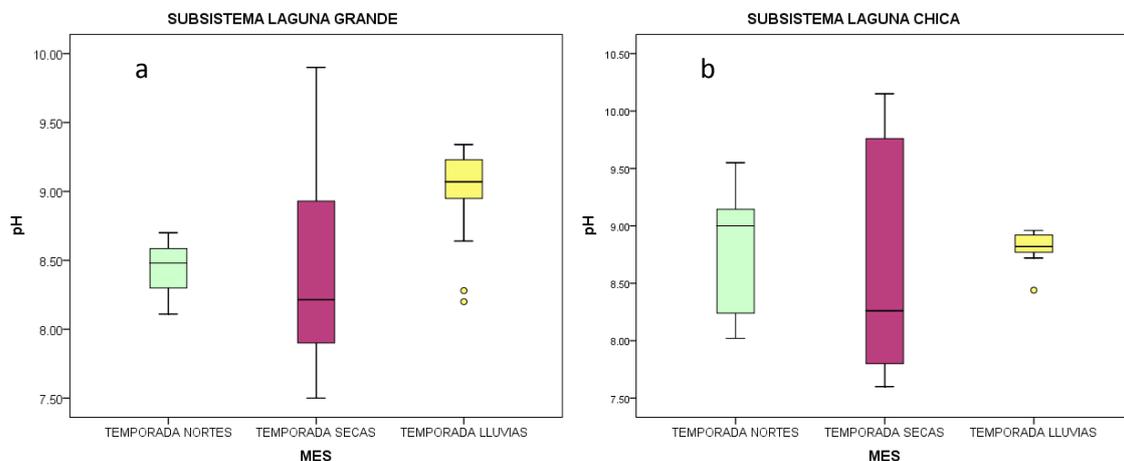
**Figura 65.** Comparaciones entre parejas de MES. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de MES.



**Figura 66.** Distribución de los valores de pH obtenidos del sistema lagunar Grande, por subsistemas

Al comparar el pH en los tres subsistemas del sistema lagunar grande la prueba de Kruskal-Wallis indicó que no existe diferencias significativas entre los subsistemas ( $p [0.178] > 0.05$ ). En el subsistema El Estero (Figura 66), tenemos un valor atípico de 5.60 que corresponde a la estación Entre la Barra y el Vado.

Los valores de la mediana para cada subsistema son las siguientes: subsistema Estero  $M_e=8.3550$ , subsistema LG  $M_e=8.5200$  y para el subsistema LC  $M_e=8.8100$ .



**Figura 67.** Distribución de los valores de pH de: (a) subsistema LG y (b) subsistema LC, en las temporadas del ciclo anual.

Al realizar la comparación de pH en las temporadas para cada subsistema se encuentra lo siguiente:

Subsistema LG, la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas de ( $p [0.0] < 0.05$ ), en temporada de lluvias (Figura 67a), tenemos dos valores atípicos de 8.20 en la estación La Puerta y 8.28 en la estación El Carey. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=8.4800$ , temporada de secas  $M_e=8.2150$  y temporada de lluvias  $M_e=8.0700$ .

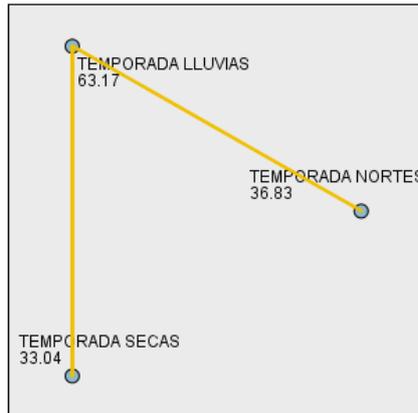
Subsistema LC, la prueba de Kruskal-Wallis no indicó diferencias significativas de ( $p [0.334] > 0.05$ ), en temporada de lluvias (Figura 67b), se tiene un valor atípico de 8.44 en la estación Salida la Puerta. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=9.0000$ , temporada de secas  $M_e=8.2600$  y temporada de lluvias  $M_e=8.8200$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 60), al comparar la temperatura del agua entre las tres temporadas en el subsistema LG, indica que la temporada de secas con la temporada de nortes existe una similitud (Figura 68).

**Tabla 60** Prueba Post Hoc Bonferroni de subsistema LG

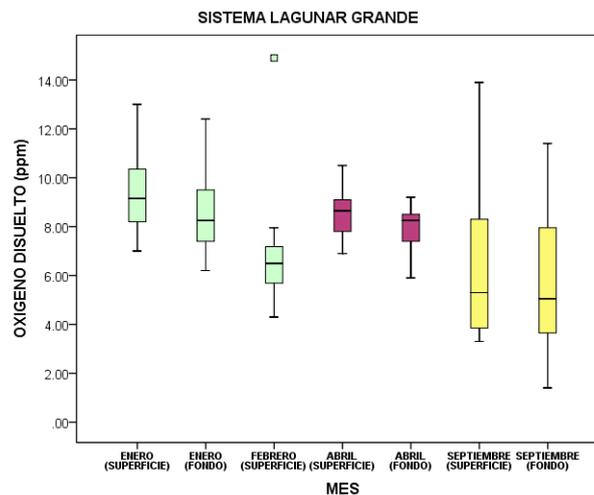
MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA NORTES	3.792	5.988	.633	.527	1.000
TEMPORADA SECAS-TEMPORADA LLUVIAS	-30.125	6.790	-4.437	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA LLUVIAS	-26.333	7.157	-3.679	.000	.001

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.



**Figura 68.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS

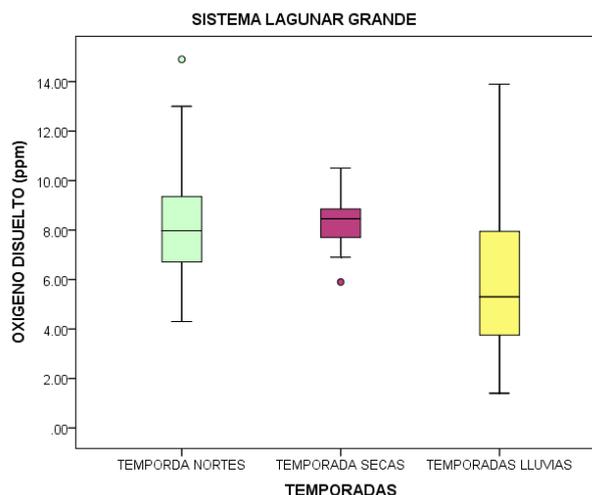
### 9.5.7 Oxígeno disuelto



**Figura 69.** Distribución de los valores de oxígeno disuelto obtenidos del sistema lagunar Grande, en todo el periodo de muestreo.

En el mes de enero (Figura 69), se registró una  $M_e$  (superficie)=9.1500,  $M_e$  (fondo)=8.2500 y un  $\bar{X}$  (superficie)=9.4313,  $\bar{X}$  (fondo)=8.5044; en el mes de febrero existe un valor atípico de 14.90 ppm y corresponde a la estación El Diamante, con una  $M_e$  (superficie)=6.4950,  $\bar{X}$  (superficie)=6.8381; en el mes de abril se registró una  $M_e$

(superficie)=8.6500,  $M_e$  (fondo)= 8.2500 y un  $\bar{X}$  (superficie)=8.4813,  $\bar{X}$  (fondo)=8.0063 y en el mes de septiembre se registró una  $M_e$  (superficie)= 5.3000,  $M_e$  (fondo)=5.0500 y un  $\bar{X}$  (superficie)=6.4438,  $\bar{X}$  (fondo)=5.7313



**Figura 70.** Distribución de los valores de oxígeno disuelto obtenidos del sistema lagunar Grande, por temporadas.

Al comparar el OD en las tres temporadas a lo largo del sistema lagunar Grande, la prueba de Kruskal-Wallis indicó que existe diferencias significativas entre las temporadas ( $p [0.0] < 0.05$ ). En temporada de nortes (Figura 70), tenemos un valor atípico de 14.90 ppm en la estación El Diamante; en temporada de secas existe un valor atípico de 5.90 ppm en la estación Frente al Diamante. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=7.9750$ , para la temporada de secas  $M_e=8.4500$  y temporada de lluvias  $M_e=5.3000$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 61), al comparar el OD en las tres temporadas a lo largo del complejo lagunar Grande, indica que la temporada de norte y la temporada de lluvias existe una similitud (Figura 71).

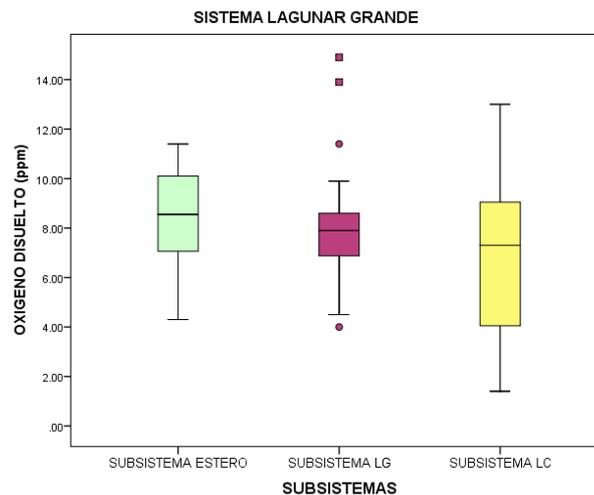
**Tabla 61.** Prueba Post Hoc Bonferroni

MUESTRA1 - MUESTRA2	ESTADISTICO DE CONTRASTE	ERROR ESTANDAR	DESV. ESTADISTICO DE CONTRASTE	SIG.	SIG. AJUSTADO
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA NORTES	26.797	7.410	3.616	.000	.001
TEMPORADA LLUVIAS-TEMPORADA SECAS	31.062	8.117	3.827	.000	.000
TEMPORADA NORTES-TEMPORADA SECAS	-4.266	7.410	-.576	.565	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05. Los valores de significación se han ajustado con la corrección Bonferroni en varias pruebas.

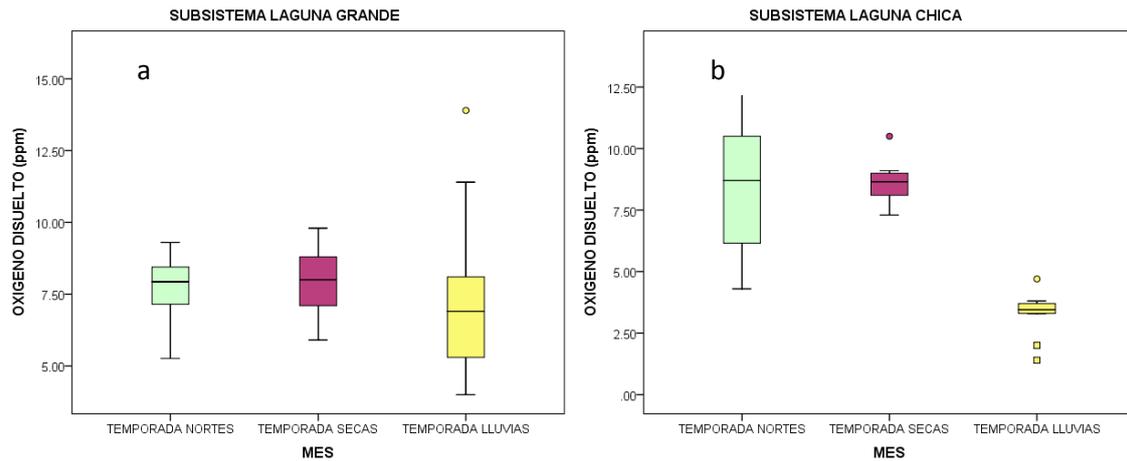


**Figura 71.** Comparaciones entre parejas de TEMPORADAS  
Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de TEMPORADAS



**Figura 72.** Distribución de los valores de oxígeno disuelto obtenidos del sistema lagunar Grande, por subsistemas

Al comparar el OD entre los tres subsistemas del sistema lagunar grande la prueba de Kruskal-Wallis indicó que no existe diferencias significativas entre los subsistemas ( $p [0.190] > 0.05$ ). En el subsistema Estero (Figura 72), tenemos un valor atípico de 5.60 ppm en la estación Entre la Barra y el Vado, en subsistema LG existen dos valores atípicos de 4 ppm en la estación La Puerta y 11.40 ppm en la estación Salida de la Puerta y existen dos valores extraordinarios de 14.90 ppm en la estación El Diamante y 13.90 ppm en la estación Salida de la Puerta. Los valores de la mediana para cada subsistema son las siguientes: subsistema Estero  $M_e=8.5500$ , subsistema LG  $M_e=7.9000$  y para el subsistema LC  $M_e=7.3000$ .



**Figura 73.** Distribución de los valores de oxígeno disuelto del (a) subsistema LG y (b) subsistema LC, en las temporadas del ciclo anual.

Al realizar la comparación de OD en las temporadas para cada subsistema se tiene para cada subsistema lo siguiente: Subsistema LG, la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas de ( $p [0.165] > 0.05$ ), en temporada de nortes (Figura 73a), tenemos un valor extraordinario de 14.90 ppm en la estación el Diamante; en temporada de lluvias tenemos un valor atípico de 13.90 ppm en la estación Salida de la Puerta. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=7.9300$ , para la temporada de secas  $M_e=8.0000$  y para la temporada de lluvias  $M_e=6.9000$ .

Subsistema LC, la prueba de ANOVA indicó que no existe diferencias significativas entre las épocas climáticas de la región ( $p [0.0] < 0.05$ ), en temporada secas (Figura 73b), tenemos un valor atípico de 10.50 ppm en la estación Puerto Arturo; en temporada de lluvias tenemos un valor atípico de 4.70 ppm en la estación Puerto Arturo y dos valores extraordinarios de 1.40 ppm en la estación A Mitad del Caño y 2.00 ppm en la estación Fondo de LC. Los valores de la mediana para cada temporada son las siguientes: temporada de nortes  $M_e=8.7000$ , temporada de secas  $M_e=3.6500$  y temporada de lluvias  $M_e=3.4500$ .

El análisis de prueba Post Hoc (Tabla 62), al comparar el OD entre las temporadas en el subsistema LC, indica que las únicas temporadas en las que existe una similitud a lo largo del ciclo anual es la temporada de nortes con la temporada de secas.

**Tabla 62.** Prueba Post Hoc Scheffe

COMPARACIONES MULTIPLES DE OXIGENO DISUELTO						
(I)TEMPORADAS	(J)TEMPORADAS	DIFERENCIAS DE MEDIAS (I-J)	ERROR ESTANDAR	SIG.	INTERVALO DE CONFIANZA AL 95%	
					LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
TEMPORADA NORTES	SECAS	-.08467	.83672	.995	-2.2325	2.0631
	LLUVIAS	5.26533*	.83672	.000	3.1175	7.4131
TEMPORADA SECAS	NORTES	.08467	.83672	.995	-2.0631	2.2325
	LLUVIAS	5.35000*	.91658	.000	2.9972	7.7028
TEMPORADA LLUVIAS	NORTES	-5.26533*	.83672	.000	-7.4131	-3.1175
	SECAS	-5.35000*	.91658	.000	-7.7028	-2.9972

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

## 10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 10.1 Ortofosfato reactivo disuelto

Los sistemas lagunares costeros tienen una alta variabilidad espacial y temporal en relación a los parámetros ambientales y el ciclo del fósforo, la dinámica en la circulación de la laguna es afectada por las mareas, los vientos y la escasa profundidad; estas características hidrológicas están determinadas por tres temporadas climáticas: la temporada de secas que se presenta de marzo a junio, la temporada de lluvias que ocurre de julio a octubre, y la temporada fría o de nortes de noviembre a febrero.

De acuerdo a Contreras 1993, una de las principales características de las lagunas costeras, es que cierran temporal o permanentemente su comunicación con el mar por lo que estos cuerpos de agua se mantienen aislados durante algunas épocas del año como sucedió en los muestreos de junio y septiembre, mientras que en los meses de enero, febrero y abril la comunicación de la laguna con el agua marina se dio de manera natural. La barra al comunicar al mar con la laguna tiene la capacidad de retener la mayor parte de energía de olas o mareas reduciendo de manera considerable la energía al interior del sistema lagunar Grande.

#### 10.1.1 Concentración de Ortofosfato reactivo disuelto en temporada de Nortes

La temporada de Nortes es caracterizado por fuertes vientos y precipitaciones producidos por las masas de aire frío que se desplazan del noroeste hacia el

sureste, asociados a frentes polares conocidos como nortes (García, 2003). Herrera (1993) y Borrego (2004) señalan que en esta temporada las condiciones de temperatura y viento propician estados de tensión, que relajan las interacciones y que factores como la baja profundidad, la velocidad de los vientos, la turbulencia inducida por las corrientes de mareas, el oleaje y la remineralización de los nutrientes en los sedimentos ocasiona que estos sistemas lagunares incrementen las concentraciones de nutrientes como el ortofosfato en la columna de agua.

Sin embargo lo anteriormente descrito no concuerda con los datos obtenidos [ $P-PO_4^{3-}$ ], los resultados registrados en esta temporada que comprenden los meses de febrero (2018) y enero (2019) reflejan que las concentraciones de ortofosfato reactivo disuelto fueron los valores más bajos del ciclo anual, en el mes de enero encontramos las [ $P-PO_4^{3-}$ ] más bajas de esta temporada, a nivel superficial tenemos que en el subsistema Estero varió de 0.002 a 0.050  $\mu\text{g-at/L}$ , en el subsistema LG fue de 0.009 a 0.016  $\mu\text{g-at/L}$  y en el subsistema LC fue de 0.001 a 0.024  $\mu\text{g-at/L}$ , con un valor alto de 0.060  $\mu\text{g-at/L}$  que corresponde a la estación de recolecta Puerto Arturo a nivel superficial (aquí se vio la presencia de espuma amarilla y el agua tenía un olor a descomposición) puede ser consecuencia de que el suelo tenga una alta cantidad de fertilizante producto de la siembra que se lleva a cabo en los alrededores de la estación, ya que, los lugareños siembran sandía y picante en esta zona. En esta misma estación a nivel fondo a nivel fondo tenemos .001  $\mu\text{g-at/L}$  la [ $P-PO_4^{3-}$ ] más bajas registrada. A nivel fondo los valores para el subsistema Estero varió de 0.036 a 0.041  $\mu\text{g-at/L}$ , en el subsistema LG vario de 0.006 a 0.027  $\mu\text{g-at/L}$  y en el subsistema LC se obtuvieron valores de 0.001 a 0.012  $\mu\text{g-at/L}$ .

En el mes de febrero a nivel superficie tenemos en el subsistema Estero vario la [ $P-PO_4^{3-}$ ] de 0.038 a 0.047  $\mu\text{g-at/L}$ , en el subsistema LG, los valores de [ $P-PO_4^{3-}$ ] varió de 0.050 a 0.095  $\mu\text{g-at/L}$ , para el subsistema LC fue de 0.054 a 0.071  $\mu\text{g-at/L}$ .

Esta temporada muestra una discrepancia en relación con la literatura al obtener las [ $P-PO_4^{3-}$ ] más bajas del ciclo anual, por lo que se deduce que las partículas que se encuentran disponibles en los sedimento al ser resuspendidas en la

columna de agua por los factores antes mencionados por Herrera (1993) y Borrego (2004), el ortofosfato queda liberado y es capturado por células fitopláncticas; por lo que hay una mayor demanda por parte del fitoplancton y es probable que en esta temporada se tenga una mayor productividad primaria y debido a esto se intensifique la demanda de ortofosfato y en consecuencia se tengan valores bajos, ya que este mismo comportamiento del muestreo del mes de febrero 2018 se presentó para el muestreo del mes de Enero 2019, por lo que se vuelve a observar el mismo comportamiento de una baja  $[P-PO_4^{3-}]$ , también puede atribuirse estos bajos valores al hecho de que al mantener una mayor influencia de agua marina (cuando la barra permanece abierta como sucedió en esta temporada) genera que esta área manifieste una circulación de agua más eficiente, teniendo una dilución de nutrientes y una mayor oxigenación del agua o deberse a una pérdida del nutrimento ortofosfato hacia afuera del sistema lagunar desplazándolo hacia el mar.

#### **10.1.2 Concentración de Ortofosfato reactivo disuelto en temporada de Secas**

La temporada de Secas se caracteriza por la disminución del afluente de los arroyos y el aporte de lluvias, el tirante de agua se reduce notablemente ocasionando que el volumen de agua sea bajo y que factores como el viento tengan una mayor influencia sobre el sedimento, pues la gran cantidad de nutrientes acumulados en el fondo se incorporan una vez más a la columna de agua (Andersen y Ring 1999). Vidal (1994) menciona que la interface agua-sedimento tiene la capacidad de adsorber y liberar fósforo, manteniendo de esta manera las concentraciones de fosfato dentro de un intervalo estrecho. Se debe considerar que el fosfato es removido de la columna de agua por la asimilación del fitoplancton, mientras que el fósforo particulado es removido vía sedimentación (Jickell, 1988). Por lo que los cambios de este nutrimento en aguas someras son explicados por su rápido tiempo de renovación y la alta reactividad del fósforo con la materia orgánica y los sedimentos suspendidos (DeBorde et al., 2007).

Los resultados obtenidos en esta temporada que comprende los meses de abril y junio, los niveles de  $[P-PO_4^{3-}]$  en el mes de abril a nivel superficie en el

subsistema Estero varió de 0.043 a 0.052  $\mu\text{g-at/L}$ , en el subsistema LG obtuvimos concentraciones de 0.017 a 0.177  $\mu\text{g-at/L}$  teniendo los valores de  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  más altos en la estación El Diamante con 0.149  $\mu\text{g-at/L}$  y la estación Fondo de LG con 0.177 y los más bajos en la estación El Carey con 0.021 y la estación Punta Brava con 0.017; en el subsistema LC los valores variaron de 0.071 a 0.356  $\mu\text{g-at/L}$  teniendo la más baja concentración de  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  en la estación Salida de LC con un valor de 0.071. A nivel fondo los valores para el subsistema Estero varió de 0.041 a 0.229  $\mu\text{g-at/L}$ , en el subsistema LG fue de 0.018 a 0.298  $\mu\text{g-at/L}$  teniendo la menor concentración de ortofosfato  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  en la estación La Puerta con un valor de 0.018 y en el subsistema LC se obtuvieron valores de 0.183 a 0.301  $\mu\text{g-at/L}$ . Al recolectar las muestras en el mes de abril en la estación de recolecta La Barra, sitio en que el mar y la laguna se mezclan, se sintió el flujo de agua fría por debajo, en este muestreo la barra se encontraba abierta por lo que el sistema lagunar Grande estaba siendo influenciado por la marea y el viento (olas), el agua de mar al ser más densa entra por la parte baja y con mayor fuerza por lo que el sedimento es removido a su paso, si notamos el gráficos (Grafico 2 y 3) observamos que a nivel superficial en el subsistema Estero y subsistema LG tenemos las menores  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  a comparación del nivel fondo que de manera notable hay un incremento, esto puede atribuirse a lo antes mencionado por el autor Jickell, (1988). Desde el punto de vista de los autores De la Lanza (1991); Accornero et al., (2003); Denis y Grenz, (2003); Czitrom et al., (2010), el sedimento de las lagunas costeras es la fase donde se acumula aquellos nutrientes procedentes de la columna de agua ya remineralizados (fracción reciclada) o de aportes fluviales (fracción nueva) ya que los sedimento juegan un papel sustancial en el ciclo y flujo de nutrientes vía incorporación a la fase sedimentaria como materiales suspendidos orgánicos e inorgánicos por lo cual constituye un reservorio importante que con el tiempo pueden redistribuir fósforo a la columna de agua, debemos tener en cuenta que el mes de abril es la culminación de la época de nortes y el principio de época de secas por lo que como bien lo mencionan estas autores los aportes fluviales de la reminiscencias que dejó la temporada de nortes pudieron incrementar el fosforo a nivel fondo.

En subsistema LC, en el mes de abril se registró las  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  más altas del ciclo anual para este subsistema, comportándose de manera homogénea a nivel

superficie y fondo. Se infiere que en este mes el subsistema LC pueda estar generando una trampa de nutrientes y que puede deberse a la forma semicerrada del subsistema en la cual al estar alejada del flujo del mar no permita la entrada de agua y por lo tanto no haya una dilución, una renovación o una mezcla de aguas y por lo que a su vez no deja que haya una salida, manteniéndose el ortofosfato capturado en esta zona, se observó que el agua contenía un color verduzco y con un olor desagradable, en los meses de febrero a abril, es la época en la que los locatarios utilizan las tierras de cultivo cerca del sistema lagunar ya que son utilizadas para el cultivo de sandía y picante por lo que al preparar la tierra para la siembra utilizan fertilizantes de origen natural (estiércol de ganado) por lo que se está viendo impactado este subsistema LC conllevado a un incremento de fósforo inorgánico; la estación A mitad del Caño es un canal estrecho y profundo que une al subsistema LG con el subsistema LC, esta zona se encuentra rodeado por manglar por lo que se encontraron altas concentraciones de fósforo inorgánico como resultado de procesos de descomposición de la materia orgánica (por ejemplo, degradación de hojarasca de manglar) que de manera continua se presentan en el sistema, y de esta forma incrementa las concentraciones del fósforo inorgánico (Swart y Reyneke 1988, Shoonees y Barwell 1991).

En el muestreo del mes junio la barra se encontraba cerrada, la máxima temperatura ambiente se registró en este mes y por ende la temperatura del agua fue cálida, por consecuente de la temporada de secas la disminución de la precipitación y el aumento de la evaporación, hace notable la poca profundidad en comparación con el mes de abril, por lo que se presentan salinidades altas esto debido probablemente a un efecto de evaporación y porque carece de tributarios directos que le aporten agua dulce. Tal como indica Segura-Aguilar (2003), en los periodos en los que la laguna recibe menos influencia de agua dulceacuícola los valores de ortofosfato son muy bajos no sobrepasando los 0.10  $\mu\text{g-at/L}$ ; lo anteriormente citado no concuerda con los datos obtenidos de  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  en el mes de junio, las  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  a nivel superficie en el subsistema Estero fue de 0.069 a 0.127  $\mu\text{g-at/L}$ , en el subsistema LG fue de 0.166 a 0.365  $\mu\text{g-at/L}$  teniendo el valor de  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  más alto en la estación El Carey de 0.365  $\mu\text{g-at/L}$  y en el subsistema LC los valores de  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  variaron de 0.020 a 0.049  $\mu\text{g-at/L}$ . A

nivel fondo los valores que se registraron para el subsistema Estero vario de 0.017 a 0.196  $\mu\text{g-at/L}$ , para el subsistema LG fueron de 0.107 a 0.353  $\mu\text{g-at/L}$  y para subsistema LC obtuvimos valores de 0.047 a 0.337  $\mu\text{g-at/L}$ . En el subsistema LG en la estación El Carey obtuvimos valores altos tanto a nivel superficial y fondo esto podría atribuirse a la entrada del arroyo que además confluye descargando aguas residuales del poblado Vega de la Torre debemos recalcar que las aguas negras (desechos domésticos e industriales), cuando son vertidas sin tratamiento a las lagunas costeras, acarrearán una gran cantidad de fósforo tanto en forma de materia orgánica suspendida y disueltas, como en la forma de fosfatos (que en su mayoría provienen de los detergentes), estos aportes pueden provocar un incremento peligroso de la producción primaria ya que es tanta la materia orgánica que se produce que en los periodos de oscuridad el oxígeno se agota provocando la muerte de muchos organismos (GESAMP, 1990).

### **10.1.3 Concentración de Ortofosfato reactivo disuelto en temporada de Lluvias**

En temporada de lluvias las variaciones estacionales de los nutrientes son amplias según Lickens (1972), Barnes (1980) y Nixon (1981), las concentraciones más elevadas se sitúan en este periodo, cuando además de los elementos autóctonos, se suman los provenientes del arrastre terrígeno originado por los escurrimientos continentales; dichos escurrimientos aportan fósforo en tres formas principales: fósforo orgánico disuelto, materia orgánica particulada, y ortofosfatos disueltos (fosfatos) (Mee, 1979). Teniendo en cuenta lo descrito por De la Lanza-Espino y Arenas Fuentes (1986) y Contreras-Espinosa (2001) las actividades antropogénicas han provocado un incremento de la concentración de los ortofosfatos en el agua a causa de su baja capacidad de adsorción por parte de los sedimentos, ya que estos colindan con campos agrícolas y que de acuerdo con Howarth et al., (2002) las altas concentraciones de ortofosfatos disueltos presente en laguna costeras principalmente en época de lluvias, han sido asociadas al aporte del agua proveniente de la actividad agrícola desarrollada en la región.

El muestreo del mes de septiembre registró el promedio de profundidad más bajo del periodo de muestreo, puede relacionarse a que la barra permanecía cerrada, el mes de septiembre origina la transición de la temporada de lluvias a la temporada de nortes. Los resultados de  $[P-PO_4^{3-}]$  obtenidos fueron los siguientes, para el mes de septiembre a nivel superficial tenemos que en el subsistema Estero fue de 0.105 a 0.147  $\mu\text{g-at/L}$ , en el subsistema LG fue de 0.107 a 0.260  $\mu\text{g-at/L}$  y para el subsistema LC fue de 0.029 a 0.132  $\mu\text{g-at/L}$ . A nivel fondo los resultados obtenidos para el subsistema Estero fue de 0.093 a 0.119  $\mu\text{g-at/L}$ , para el subsistema LG fue de 0.178 a 0.241  $\mu\text{g-at/L}$  y para subsistema LC fue de 0.044 a 0.184  $\mu\text{g-at/L}$ , al analizar los datos (Grafico 21 y 22), observamos que el subsistema LG a nivel superficial y fondo tuvimos las mayores  $[P-PO_4^{3-}]$  para este muestreo, como indica Valdés-Lozano et al., (2004) aunque las comunidades microbianas en las lagunas costeras están en su mayoría adaptadas a los altos niveles de nutrientes, parece ser que la capacidad de acarreo de los aportes continentales ocasionados por la temporada pueden excederse ocasionando que la comunidad bacteriana presente en la columna de agua y sedimento no sea capaz de mineralizar toda la materia orgánica depositada, esta se va acumulando y surgen condiciones de eutrofización, estas altas  $[P-PO_4^{3-}]$  para esta temporada pueden ser el producto de un escaso movimiento y una mala circulación del agua (baja profundidad), acumulándose nutrientes como el fósforo dando origen a un crecimiento en exceso de plantas y algas, al ser el ortofosfato la única forma disponible para el crecimiento algal, estos organismos son capaces de acumularlo y almacenarlo en sus células, en este muestreo obtuvimos una disminución de entrada de luz solar en la masa de agua y se presentó niveles de OD bajos desde la estación La Puerta a la estación Punta Brava valores desde 4 a 5.8 ppm y valores de OD altos de la estación El Diamante a la estación Salida de la Puerta valores desde 7 a 14 ppm, en la estación El Diamante se observó una gran cantidad de limo, el agua presentaba un color verde-pistache y en la estación Salida de la Puerta el agua tenía una gran cantidad de fitoplancton con presencia de costras o nata. En este subsistema tenemos la entrada de arroyos como es El Salado, El Carey y El Diamante, por lo que las concentraciones del nutrimento ortofosfato se ven influenciadas en estas zonas ya que de acuerdo a lo citado por Segura-Aguilar (2003) cuando el aporte de agua dulce es mayor se observa una influencia en las concentraciones de ortofosfato, obteniendo valores

mayores de 20  $\mu\text{g-at/L}$ , por lo que la mayor variabilidad en las  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$  en esta época de lluvias, puede sugerir por la incorporación de nutrientes a través de los aportes fluviales y de los escurrimientos agrícolas.

En subsistema LC se obtuvieron bajas  $[\text{P-PO}_4^{3-}]$ , con excepción de la estación A mitad del caño con un valor alto de 0.184  $\mu\text{g-at/L}$  y la estación Salida de Laguna Chica con un valor de 0.132  $\mu\text{g-at/L}$ , estos valores altos podrían atribuirse a la gran cantidad de materia orgánica producto de (hojarasca) de la vegetación circúndate (manglar) de la zona, que eleva la concentración del fosforo inorgánico, y que al encontrarse ambas estaciones cercas puede ser afectada por el mismo factor; la estación Puerto Arturo registra un valor de 0.120  $\mu\text{g-at/L}$  lo cual se está viendo influenciada por el acarreo de fertilizantes producto del cultivo que se lleva a cabo en ese lugar. En este subsistema LC se obtienen las concentraciones OD más bajas a lo largo del periodo del muestreo, por lo que al tener valores muy bajos conlleva a la descomposición de materia orgánica la cual se traduce en la presencia de malos olores, los niveles de OD para el subsistema Estero en la estación La Barra fueron concentraciones de OD altas mayor a 10 ppm, en la estación Entre la Barra y el Vado las concentraciones OD fueron baja menor a 5 ppm, por lo que se observó que el agua tenía exceso de humus (materia orgánica en descomposición) por lo cual el agua era de color verduzca en extremo y había presencia de peces muerto.

## **10.2 Estado Trófico del complejo lagunar Grande**

La causa que conlleva a la eutrofización es siempre una aportación de elementos nutritivos de diversa procedencia, de estos nutrientes, los más efectivos son aquellos para los que existe una limitación natural, principalmente el nitrógeno y el fósforo, el primer elemento puede ser extraído de la atmosfera por determinados microorganismos quedando en el último termino el fósforo como principal elemento limitante del proceso eutrófico (Moreta, 2008). La problemática a la cual se enfrentan la lagunas costeras resalta el tema de eutrofización ya que a lo largo del tiempo, estos cuerpos de agua se van deteriorando, en la actualidad estos proceso se han ido acelerando principalmente en zonas donde hay asentamientos urbanos, zonas agrícolas y zonas industriales; las causas antropogénicas que afectan el sistema lagunar Grande es el uso de fertilizantes

agrícolas ya que el uso continuo de fertilizantes y estiércol animal es el principal responsable de la eutrofización ya que estos llegan a los cuerpos de agua principalmente por la escorrentía que se produce cuando el agua de lluvia o las prácticas de riego los arrastran hacia zonas bajas, hasta llegar a los cuerpos de agua, otra casusa que se presenta es las descargas de residuos industriales y municipales las cuales provienen de los poblados, en este caso el poblado Vega de la torre descarga en el sistema lagunar.

De acuerdo a la clasificación que propone la OCDE (1982) y Janus y Vollenweider (1981), para los valores límites de clasificación trófica para el nutrimento fósforo inorgánico establece que valores de  $<0.75 \mu\text{g/L [P-PO}_4^{3-}]$  se considera un sistema ultra-oligotrófico, valores de  $0.075\text{-}1.5 \mu\text{g/L [P-PO}_4^{3-}]$  se considera un sistema oligo-mesotrófico, valores de  $1.5\text{-}4.5 \mu\text{g/L [P-PO}_4^{3-}]$  se considera un sistema meso-eutrófico, valores de  $4.5\text{-}15 \mu\text{g/L [P-PO}_4^{3-}]$  se considera un sistema eutrófico, y valores de  $>15 \mu\text{g/L [P-PO}_4^{3-}]$  se considera un sistema hiper-eutrófico (Franco *et al.*, 2010).

En el complejo lagunar Grande en temporada de nortes tenemos las más bajas concentraciones de fósforo reactivo disuelto por lo que el índice trófico se encuentra en una clasificación que va de mesoeutrófico en el mes de febrero a un estado ultraoligotrófico en el mes de abril.

En temporada de secas tenemos una amplia variación de nutrientes a lo largo de los subsistemas ya que tenemos una eutrófia muy marcada en el subsistema LG en el mes de abril a nivel fondo y en el mes de junio a nivel superficie y fondo, lo mismo sucede en el mes de abril con el subsistema LC en ambos niveles estas altas concentraciones del nutriente fósforo puede ser consecuencia de la escorrentía y lixiviación de los suelos terrestres aledaños producto de la reminiscencia de la precipitación pluvial que deja la temporada de nortes acarreando cantidades considerables de fertilizantes de origen natural, al carecer del aporte de agua consecuencia de la temporada de secas el fósforo almacenado puede abastecer al subsistema LC el resto de la temporada ocasionando que sea aprovechado este nutriente por parte de los productores primarios ya que para junio tenemos una baja concentración de ortofosfato encontrándolo un estado de ultraoligotrófico a eutrófico.

En temporada de lluvias tenemos que el complejo lagunar grande se categoriza en una clasificación que predomina de mesoetrófico a eutrófico esto puede ser consecuencia por el aporte de aguas de origen epicontinentales que van a traer consigo una considerable cantidad de nutrientes hacia el sistema lagunar, elevando así su productividad.

### **10.3 Parámetros ambientales en el complejo lagunar Grande**

En el periodo en que se realizó este trabajo tenemos que:

El promedio de profundidad en el complejo lagunar Grande en el mes de septiembre temporada de lluvias tuvimos el  $\bar{X} \approx 0.77$  más bajo y en el mes de abril temporada de secas tuvimos el  $\bar{X} \approx 1.15$  más alto.

El promedio de la temperatura ambiente en el complejo lagunar Grande en el mes de septiembre temporada de lluvias tuvimos el  $\bar{X} \approx 26.75$  más bajo y en el mes de junio temporada de secas tuvimos el  $\bar{X} \approx 30.97$  más alto. La máxima térmica registrada fue en el mes de febrero temporada de nortes y junio temporada de secas con  $35^{\circ}\text{C}$  y la mínima térmica registrada fue en el mes de abril temporada de secas con  $25^{\circ}\text{C}$  patrón típico de las regiones tropicales, sistema de Holdridge (1947).

El promedio de la temperatura del agua en el complejo lagunar Grande en el mes de enero temporada de nortes tuvimos el  $\bar{X} \approx 25.53$  más bajo y en el mes de junio temporada de secas tuvimos el  $\bar{X} \approx 30.26$  más alto.

El promedio de la concentración de salinidad en el complejo lagunar Grande en el mes de febrero temporada de nortes  $\bar{X} \approx 8.4$  y abril temporada de secas  $\bar{X} \approx 9.5$  obtuvimos las más bajas concentraciones de salinidad, en el mes de enero temporada de nortes  $\bar{X} \approx 19.34$ , en el mes de junio temporada de secas  $\bar{X} \approx 17.25$  y en el mes de septiembre temporada de lluvias  $\bar{X} \approx 17.88$  obtuvimos las más altas concentraciones de salinidad.

Las lagunas han permanecido de acuerdo con el sistema de Venecia (1959), como mesohalinas durante los últimos 25 años, con una marcada variabilidad pasando de oligohalinas durante la época de lluvias a euhalinas en época de secas, indicando con claridad diferencias entre ambas épocas climáticas,

influenciadas sobre todo por su geomorfología, la entrada de ríos y la precipitación pluvial. Cabe mencionar que durante una parte del año, estos sistemas lagunares fueron clasificados como oligohalinos y el resto como estuarino-marinos (García-Nagaya y Castañeda-López, 1994). Posteriormente, Contreras-Espinosa (2001) los clasificó como lagunas polihalinas, cuyo promedio anual vario de 18 a 30 ups.

La salinidad permite clasificar a las lagunas costeras en diversas formas, el Sistema de Venecia propuesto por Carriker (1967), se ha generalizado y categoriza los contenidos de salinidad en el agua de estuarios y lagunas costeras de la siguiente manera: Limnético < 0.5 ‰, Oligohalino 0.5 a 5.0 ‰, Mesohalino 5.0 a 18.0 ‰ Polihalino 18 a 30 ‰ y Euhalinas 30 a 40 ‰

En el complejo lagunar Grande, el subsistema Estero se encuentra conectado directamente con el mar por lo que presenta una mayor influencia del agua marina, en esta zona el agua tiene características de salinidad mayores como señala el Sistema de Venecia propuesto por Carriker (1967) tenemos que en temporada de nortes y secas la salinidad tiende a ser polihalino, a diferencia de la temporada de lluvias que tenemos concentraciones de salinidad más bajas, por lo que hay una tendencia de oligohalino a mesohalino.

El subsistema LG, en el mes de enero y junio la salinidad tiende a ser polihalino, en el mes de febrero, abril y septiembre se tiende un comportamiento de oligohalino a mesohalino

El subsistema LG, en el mes de febrero, abril y septiembre se registran bajas concentraciones de salinidad, en el mes de septiembre al permanecer la barra cerrada puede que la afluencia de agua marina haya sido menor y por esto se tenga una concentración baja de salinidad, el mes de abril registró una mayor profundidad por lo que puede verse influenciado por la reminiscencia de la temporada de nortes, y que de acuerdo con Aguirre-León *et al.*, (2010) estos valores bajos pueden atribuirse a la influencia de los vientos de invierno que mueven el agua dulce proveniente de los afluentes hacia la boca de conexión y atenúan el efecto de marea, pero existe una discrepancia con el mes de enero ya que se registró valores altos de salinidad por lo cual se deduce que al mantener una mayor influencia de agua marina al permanecer la barra abierta genera que

esta área manifieste una circulación de agua más eficiente aumentando las concentraciones de salinidad en este periodo de recolecta. En el mes de junio se presentan salinidades altas esto podría atribuirse probablemente a un incremento en la insolación y la evaporación ya que para este mes de junio se registró el promedio más alto del ciclo anual y la máxima temperatura ambiente y de agua.

El subsistema LC es una cuenca semicerrada que se encuentra alejado del mar y que tiene una mayor influencia de agua dulce que es aportada por la entrada de caños temporales (El Huanal y Fondo de LC), por lo que las concentraciones de salinidad son menores en comparación con los otros dos subsistemas, en el mes de enero, febrero y junio la salinidad tiende a ser mesohalino, en abril oligohalino y en septiembre vemos que vario entre meso-polihalino

El promedio del pH en el complejo lagunar Grande en el mes de abril temporada de secas tuvimos el  $\bar{X} \approx 7.84$  más bajo y en el mes de junio temporada de secas tuvimos el  $\bar{X} \approx 8.97$  más alto.

Citando a Reid y Wood (1976) señalan que el pH determina en gran medida la naturaleza del compuesto fósforo que en condiciones circumneutrales y moderadamente alcalinas, es probable que prevalezca el fosfato de calcio, mientras que un pH extremadamente alto se encuentra asociado con la presencia de fosfato de sodio. El pH arrojó los siguientes datos, en temporada de nortes, en el mes de enero los valores varió de 8.38 a 9.55 y en el mes de febrero varió de 8.02 a 8.34; en temporada de secas, en el mes abril se obtuvieron valores entre 7.6 a 8.1 y en el mes de junio de 8.33 a 10.15 (a excepción de la estación Entre la Barra y el Vado en el mes de abril con un valor atípico de 5.6) y en el mes de septiembre se registraron valores entre 8.2 a 9.34, por lo que de acuerdo a lo citado por estos dos autores el sistema lagunar Grande de manera general se comportó alcalinamente.

El promedio de OD en el complejo lagunar Grande en el mes de septiembre temporada de lluvias se obtuvo el promedio más bajo, de  $\bar{X} \approx 6.09$ , y en el mes de enero temporada de nortes se registró el más alto que fue de  $\bar{X} 8.97$ .

Citando a Brenes *et al.*, (2009), señalan que al cerrarse la barra se produce una caída de oxígeno en el sistema lagunar ya que bajas concentraciones de oxígeno

están relacionadas con una escasa circulación asociada a la falta de interacción con el mar adyacente, o a procesos de descomposición de materia orgánica, por otro lado, el descenso de la concentración de oxígeno también está relacionado con disturbios en el fondo lagunar, a consecuencia de la resuspensión de sedimentos, lo anterior citado concuerda con los datos de OD obtenidos ya que la barra en el mes de septiembre permanecía cerrada y la visibilidad no era buena debido a los sedimentos resuspendidos en la columna de agua por lo que puede deberse a que se hallan tenido las concentraciones de OD más bajas. De acuerdo a estos mismos autores, la turbulencia, las corrientes, la actividad biológica, la salinidad y la temperatura juegan un papel importante en la distribución del contenido de oxígeno dentro de la laguna, los valores mayores de oxígeno obtenidos en esta época de nortes están asociados a procesos de turbulencias generados por la intensificación de los vientos en la región de estudio, ya que en este periodo de muestreo se vio influenciado por la entrada de un norte y por ende para este mes se registró la temperatura de agua más baja, a esto podemos atribuir las más altas concentraciones de OD.

El OD en lagunas costeras es una variable sumamente relevante, puede oscilar en condiciones normales, hipoxia ( $< 2.0$  mL/L), anoxia ( $< 1.0$  mL/L) o sobresaturación ( $>10$  mL/L) (De la Lanza, 2014). En cuanto al OD tenemos los siguiente valores, en temporada de nortes en el mes de enero los valores varían entre 7 a 12.7 ppm, en el subsistema Estero y el subsistema LC tenemos los valores más altos por lo que estamos hablando de una sobresaturación ( $>10$  mL/L) esto puede ser producto de los factores climáticos de la época ya que la laguna costera está sometida al esfuerzo del viento de manera constate por lo que la concentración del OD puede alcanzar valores de sobresaturación por periodos cortos; también los organismos presentes en la columna de agua afectan la concentración de OD, el fitoplancton y la vegetación acuática sumergida (productores primarios) contribuyen mediante la fotosíntesis a generar oxígeno, sin olvidar que una parte de este oxígeno es consumida por los mismos autótrofos y todos los heterótrofos mediante la respiración (Comín, 1984); y que es reforzada por la disminución de la concentración de nutrientes (fósforo inorgánico); en el mes de febrero los valores de OD varían entre 4.3 a 7.93 ppm (a excepción de la estación el Diamante con 14.9 ppm) aquí el índice de OD se

encuentra en condiciones normales a excepción de la estación el Diamante que existe una sobresaturación de oxígeno esto podría deberse a la entrada del arroyo que está generando una mayor oxigenación, en temporada de secas en el mes de abril los valores variaron de 5.9 a 10.5 ppm lo que indica que se encuentra en condiciones normales, en la temporada de lluvia en septiembre el OD varió entre 2 a 13.9 ppm, en el subsistema LC tuvimos los valores más bajos registrados del ciclo anual; cuando un cuerpo acuático contiene altos niveles de materia orgánica, la respiración bacteriana consume grandes cantidades de oxígeno (para degradar este material orgánico) a velocidades superiores a sus tasas de renovación, llegando a generar, en el peor de los casos zonas anóxicas ausencia de oxígeno, cuando nos referimos a hipoxia es para definir bajas concentraciones de OD. (Bricker *et al.*, 2003). Estos valores se han atribuido principalmente al exceso de material orgánico presente en una circulación pobre y al aislamiento de la zona (Contreras, 2001); las estaciones A mitad del caño y Fondo de Laguna Chica tuvieron valores de hipoxia.

## **11. CONCLUSIONES**

Existe una similitud del nutrimento fósforo reactivo disuelto en los subsistemas (Estero, LG y LC), a lo largo del complejo lagunar Grande.

Existe una disimilitud el nutriente fósforo reactivo disuelto a lo largo de las tres temporadas climáticas (Nortes, Secas y Lluvias), del ciclo anual.

Si existe un comportamiento similar del nutrimento fósforo reactivo disuelto en temporada de nortes en los meses de enero y febrero a nivel superficie y fondo a lo largo del complejo lagunar Grande.

No existe un comportamiento similar del nutriente fósforo reactivo disuelto en temporada de secas en los meses de abril y junio y en temporada de lluvias en el mes de septiembre a nivel superficie y fondo a lo largo del complejo lagunar Grande.

De acuerdo al índice trófico de la OCDE (1982) y Janus y Vollenweider (1981), en temporada de nortes los valores de ortofosfato se encuentran en una clasificación de ultra-oligotrófico a meso-eutrófico, para la temporada de secas y lluvias se

considera que existe una condición de eutrofia muy marcada de acuerdo a los valores obtenidos de ortofosfatos.

Al comparar los parámetros ambientales físicos (profundidad, visibilidad, salinidad, temperatura ambiente y temperatura del agua) y químicos (pH y OD) entre los tres subsistemas (Estero, LG y LC) y entre las tres temporadas (Nortes, Secas y Lluvias). Se concluye que entre subsistemas existe una similitud en los parámetros visibilidad, temperatura ambiente, pH, OD y una disimilitud en los parámetros profundidad, temperatura del agua y salinidad. Entre temporadas existe una disimilitud de cada uno de los parámetros a lo largo del ciclo anual.

## 12. LITERATURA CITADA

Accornero, A., P. Picon, F. De Bovée, B. Charrière, & R. Buscail. (2003). Balance de carbono orgánico en la interfaz sedimento-agua en el margen continental del Golfo de Leones. *Investigación de la plataforma continental*, 23 (1), 79-92.

Aguirre-León, A., S. Díaz-Ruiz, & A. Ramírez-Huerta. (2010). *Ecología de peces dominantes costeros tropicales*. Estudio para el sistema fluvio-deltaico Pom-Atasta, Campeche. Serie Académicos No. 96. México: CBS, UAM-Xochimilco

Aguirre-León, A., H. E. Pérez-Ponce, & S. Díaz-Ruiz. (2014). Heterogeneidad ambiental y su relación con la diversidad y abundancia de la comunidad de peces en un sistema costero del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 62(1), 157-176.

Allier, D. (2004). Essais de coagulation/floculation sur la baie missisquoi et le lac Saint-Augustin. Rapport technique. Québec: Département de Génie Civil, Université Laval. 25 p.

American Public Health Association. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. *Ediciones Díaz de Santos*. 4-197 pp.

American Public Health Association (1998). Standard methods for the examination of water and waste water. American water works association and water pollution control federation. Washington D.C., U.S.A. 874 pp.

Andersen, F. Q., & P. Ring. (1999). Comparación de la liberación de fósforo de sedimentos litorales y profundos en un lago eutrófico poco profundo. *En Shallow Lakes '98* (pp. 175-183). Springer, Dordrecht.

Arocena, R. & D. Conde. (1999). Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos de limnología en Uruguay. Instituto de Biología, Sección Limnología. Facultad de Ciencias. Uruguay. 235 p.

Arredondo, F. J. L. (1986). Breve descripción de los criterios y las técnicas para el manejo y la calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. Dirección General de Acuicultura, Secretaria de Pesca, México, 182 p.

Arredondo, F. J. L., & P. J. T. Ponce. (1998). *Calidad del agua en acuicultura. Conceptos y aplicaciones*. AGT. Editor. México. 222 pp.

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & B. R. Silliman. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs*, 81(2), 169-193.

Barnes, R. S. K. (1980). *Coastal Lagoons*. Cambridge Studies in modern biology. Cambridge University (Vol. 1). 106 p.

- Blancas, A. G. A. (2007). Criterio para establecer estaciones de monitoreo y análisis de parámetros fisicoquímicos. En: Arredondo-Figueroa, J. L., Díaz-Zavaleta, G. y Ponce-Palafox, J. T. Compiladores. Limnología de presas mexicanas. Aspectos teóricos y prácticos. AGT S. A. y UAM Editores. México, Capítulo 2:87-123
- Borrego, S. Á. (2004). Dinámica de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera fuertemente afectada por surgencias costeras. *Ciencias Marinas*, 30(1A), 1-19.
- Brenes-Rodríguez, C. L., R. Benavides-Morena, & D. Ballesteros Sakson. (2009). Características hidrográficas del sistema lagunar los micos-quemada en el Caribe hondureño. *Rev. Mar y Costo* (Vol. 1 pp. 215-229).
- Bricker, S. B., T. Simas, & J. G. Ferreira (2003). An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling* 169: 39–60.
- Caballero-Vázquez, J. A., H. C. Gamboa-Pérez, & J. Schmitter-Soto. (2005). Composition and spatial-temporal variation of the fish community in the Chacmochoch Lagoon system, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*; 15(2 especial): 512-225.
- Carlson, R. E., & J. Simpson. (1996). A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. *North American Lake Management Society*, 96, 305.
- Carpenter, S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, & V. H. Smith. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological applications*, 8(3), 559-568.
- Carriker, M. R. (1967). Ecología de invertebrados bentónicos estuarinos: una perspectiva, en: Lauff, G. H. (Ed.) *Estuarios*. Publicación de la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia, 83: págs. 442-487
- Cloern, J. E. (1996). Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: a review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Revue of Geophysics* 34: 127-168.
- Cloern, J. E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine ecology progress series*, 210, 223-253.
- Cole, B. E., & J. E. Cloern. (1987). An empirical model for estimating phytoplankton productivity in estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 36(1), 299-305.
- Contreras-Espinosa, F. (1993). Ecosistemas costeros mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Autónoma Metropolitana México. pp.415.

Contreras-Espinosa, F. (1994). Manual de técnicas hidrobiológicas. UAM Iztapalapa. Ed. Trillas. México 87 p.

Contreras-Espinosa, F. (2001). *Caracterización de lagunas costeras mexicanas a través d variables ecológicas seleccionadas*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana Ciudad de México, México 95 p.

Contreras-Espinosa, F., O. Castañeda-López, R. Torres-Alvarado. & F. Gutiérrez. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista de Biología Tropical*, 44(2) 417-425.

Contreras-Espinosa, F., O. Castañeda-López, E. Barba-Macías, & M. A. Pérez-Hernández. (2002). Caracterización e importancia de las lagunas costeras. En: INPI U. Ver. *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*. CRIP/INP/SAGARPA/ U. Veracruzana, México, pp. 31-43

Contreras, F. & O. Castañeda. (2004). La biodiversidad de las lagunas costeras. Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista Ciencias*, 76, pp. 46-56.

Comín, F.A. (1984). Características físicas y químicas y fitoplancton de las lagunas costeras, Buda, Encañizada y Tancada (Delta Ebro). *Oceanología acuática*, 7:25-36.

Czitrom, S. P. R., I. Penié, & G. de la Lanza (2010). Coastal Ecosystem Management Using a Wave Energy-driven Seawater Pump: Some Mega-engineering and Environmental Aspects. In *Macro-engineering Seawater in Unique Environments* (pp. 635-655). Springer, Berlin, Heidelberg.

Deborde, J., P. Anschutz, G. Chaillou, H. Etcheber, M. V. Commarieu, P. Lecroart, & G. Abril. (2007). The dynamics of phosphorus in turbid estuarine systems: Example of the Gironde estuary (France). *Limnology and Oceanography*, 52(2), 862-872.

De la Lanza, E. G. (1990). Algunos conceptos sobre la hidrología y calidad del agua. In: Arredondo F.J.L. y Compiladores. *La acuicultura en México: de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología y Universidad Nacional Autónoma de México D.F. 181-199 p.

De la Lanza, E. G. (1991). *Oceanografía de mares mexicanos*. A.G.T. Editor. México, D.F. 569 p.

De la Lanza-Espino, G. (1994). Química de las lagunas costeras. In: de la Lanza-Espino, G. & C. Cáceres-Martínez (Eds.). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. UABCS. pp. 127-198.

De la Lanza-Espino, G. (2014). Protocolo para el muestreo de calidad del agua en ríos endorréicos y exorréicos, y en humedales para la aplicación de la Norma

de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012) Versión 1.0 Junio 2014. *Programa Nacional de Reservas de Agua*. p. 33.

De la Lanza-Espino, G. y Arenas-Fuentes, V. (1978). Naturaleza química de las hojas y rizomas de los pastos marinos y su ambiente sedimentario. *Rev. Biol. Trop.* 26 (2) 277-289

De la Lanza-Espino, G. & V. Arenas-Fuentes. (1986). Disponibilidad de nutrimentos a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. *Ciencia*, 37(4), 247-256.

Denis, L. & C. Grenz. (2003). Variabilidad espacial en los flujos de oxígeno y nutrientes en la interfaz sedimento-agua en la plataforma continental en el Golfo de los Leones (Mediterráneo Noroccidental). *Oceanológica Acta*, 26 (4), 373-389.

Dettmann, E. H. (2001). Efecto del tiempo de residencia del agua en la exportación anual y desnitrificación de nitrógeno en estuarios: un análisis de modelo. *Estuarios*, 24 (4), 481-490.

Flores-Verdugo, F., H. C. Agraz, & P.D. Benítez. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de ecología - Secretaría de Medio ambiente y recursos Naturales (INE-SEMARNAT). Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación: 147-166.

Flores-Verdugo, F. J., F. González-Farías, D. S. Zamorano & P. Ramírez-García. (1992). Mangrove ecosystems of the Pacific coast of Mexico: Distribution, Estructure, Litterfall and Detritus Dynamics. En: U. Seeliger (Ed.). *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press, Inc., pp. 269-288.

Fourqurean J. W., R. D. Jones, & J. C. Zieman. (1993). Processes influencing water column nutrient characteristics and phosphorus limitation of phytoplankton biomass in: Florida Bay, FL, USA: Interferences from spatial distributions. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 36: 295-314.

Franco, D., J. Manzano, & A. Cuevas. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, vol. 78, 25-33.

Froelich P. N. (1988). Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: a primer on the phosphate buffer mechanism. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 649-668.

Fuentes, F. & D. A. Massol. (2002). *Manual de Laboratorios. Ecología de Microorganismos*. Universidad de Puerto Rico.

Gallagher, S. A. (1999). Temperature. En: Bain, B. M. y N. J. Stevenson (Editors). *Aquatic habitat assessment. Common methods*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. U.S.A. 159-163.

Gameiro, C., P. Cartaxana, M. T. Cabrita, & V. Brotas. (2004). Variability in chlorophyll and phytoplankton composition in an estuarine system. *Hydrobiologia*, 525(1), 113-124.

García, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. UNAM (50), 67-76.

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. México: Instituto de Geografía, UNAM

García-Nagaya, A. & O. Castañeda-López. (1994). Hidrología, nutrientes y productividad primaria en dos sistemas costeros del Estado de Chiapas, México. *Inv. Mar. CICIMAR.*, 15(3), 171-188.

GESAMP (1990) El estado del medio marino. Mares Regionales del PNUMA. *Rep. Stud. GESAM* 39, 1–111.

Gómez-Ortega, R., G. de la Lanza-Espino, C. Tovilla-Hernández, E. Barba-Macías, J. Valle-Mora, O. Castañeda-López, & E. Ramos-Santiago. (2017). Cambios ambientales y tróficos a través de un análisis a largo plazo del sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 75-100.

González, I. (2006). Establecimiento y Determinación de Índices de Calidad del Agua. Enfoque Basado en Lógica difusa. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería de Sistemas. Departamento de Investigación de Operaciones. 133 pp.

Herrera-Silveira, J. A. (1993). Correlaciones de parámetros hidrobiológicos de la laguna de Celestún, Yucatán. In *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México*. (Vol. 20, p. 43). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Howarth, R. W, A. Sharpley, & D. Walker. (2002). Fuentes de contaminación por nutrientes de las aguas costeras en los Estados Unidos: implicaciones para lograr los objetivos de calidad del agua costera. *Estuarios*, 25 (4), 656-676.

Jickells, T. D. (1998). Biogeoquímica de nutrientes de la zona costera. *Science*, 281 (5374), 217-222.

Knoppers, B. (1994). Aquatic primary production in coastal lagoons. In Elsevier oceanography series (Vol. 60, pp. 243-286). In: KNOPPERS B. & B. KJERFVE.1999. Coastal lagoons of south-eastern Brazil: Physical and biochemical characteristics 35-66. In: PERILLO & PICCOLO (EDS.) *Estuaries of South America. Their Geomorphology and Dynamics*. Springer, pp. 150.

Lankford, R. R. (1977). Coastal lagoon of Mexico. Their origin and classification. En: M. Wiley, (ed.). Estuarine Processes. Academic Press Inc., 182-215 pp

Lara-Domínguez, A. L., F. Contreras-Espinosa, O, Castañeda-López, E. Barba-Macías, & M. A. Pérez-Hernández. (2011). Lagunas costeras y estuarios. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de caso. Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana (UV), Instituto de Ecología AC (INECOL), 301-317.

Lara-Domínguez, A. L., J. Franco-López, C. Bedia-Sánchez, L.C. Abarca-Arenas, S. Díaz-Ruiz, A. Aguirre-León, C. González-Gándara, & M. A. Castillo-Rivera. (2011b). Diversidad de peces en los ambientes costeros y plataforma continental. In A. Cruz-Angón (Ed.), La Biodiversidad en Veracruz: Estudio del Estado (pp. 505-516). México: CONABIO.

Likens, G. E. (1972). In: Nutrients and Eutrophication Americ. Soc. Limnol. Oceanogr. Special Symp. 1. 378 p.

Margalef R. (1983). Limnología. Barcelona. Ed. Omega. 1010 p

Mee, L. (1979). Coastal Lagoons. En: RILEY, J. P. and G. SKIRROW (Eds.), Chemical Oceanography, Academic Press, London, 42: 441-490.

Morgan, M. A. (1997). The behaviour of soil and fertilizer phosphorus. The behaviour of soil and fertilizer phosphorus., 137-149.

Moreno-Casasola, P., E. Cejudo-Espinosa, A. Capistrán-Barradas, D. Infante-Mata, H. López-Rosas, G. Castillo-Campos, J. Pale-Pale, & A. Campos-Cascaredo. (2010). Composición florística, diversidad y ecología de humedales herbáceos emergentes en la planicie costera central de Veracruz, México. Boletín de la sociedad botánica de México, (87), 29-50.

Moreta-Pozo, J. C., & M. Oleas. (2008). La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. *Tesina de Tecnología en Saneamiento Ambiental. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.*

Nixon, S. W. (1981). Entradas de agua dulce y productividad estuarina. En *Actas del Simposio Nacional sobre la afluencia de agua dulce a los estuarios* (Vol. 1, pp. 31-57). Departamento del Interior de Estados Unidos, Washington, DC.

OCDE. (1982). (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico), "Eutrophication of waters-Monitoring assessment and control", Paris

Oliva-Martínez, M. G., J. L. Godínez-Ortega, & C. A. Zúñiga-Ramos. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 54-61.

Paytan, A. & K. McLaughlin. (2007) El ciclo oceánico del fósforo. *Revisiones químicas*, 107(2), 563-576.

Piehler, M. F., & A. R. Smith. (2011). Habitat-specific distinctions in estuarine denitrification affect both ecosystem function and services. *Ecosphere*, 2(1), 1-17.

Reid, G. K., & R. D. Wood. (1976). *Ecology of inland waters and estuaries*. D. Van Nostrand. 2th Edition. New York 488 p.

Richardson, K. & B. B. Jørgensen. (1999). Eutrophication: Definition, history and effects. *Coastal and Estuarine Studies*, 52:1-19.

Rodier, J., C. Geoffroy, & L. Rodi. (1984). *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer: chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie*, 8e edition Paris: Dunod (p. 1365).

Santamaria-del-Angel, E., R. Millán-Núñez, & G. De-Peña-Nettel, (1996). Effect of turbidity on primary productivity at two stations in the area of the Colorado River Delta. *Ciencias Marinas*, 22(4), 483-493.

Schoonees, J. S., & L. Barwell. (1991). Waenhuiskrans: Balance de sedimentos y reactivación de una vía de sedimentos. En *sedimentos costeros* (págs. 2277-2291). ASCE.

Segura-Aguilar, R. (2003). Dinámica espacio temporal de nutrientes en la laguna de la Mancha, Veracruz, Tesis doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana Ciudad de México, México 66 p.

Smith, S. V., D. P. Swaney, L. Talaue-Mcmanus, J. D. Bartley, P. T. Sandhei, C. J. McLaughlin, & F. Wulff. (2003). Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *Bioscience*, 53(3), 235-245.

Swart, D. H., & P. G. Reyneke. (1988). The role of drift sands at Waenhuiskrans, South Africa. *Journal of coastal research*, (Special Issue) 3: 97-102.

Swingle, H. S. (1969). *Methods of analysis for waters, organic meter, and pond bottom soils used in fisheries research*. Auburn University, Alabama, 119 p.

Taft, J. L., W. R. Taylor, & J. J. McCarthy. (1975). Uptake and release of phosphorus by phytoplankton in the Chesapeake Bay estuary, USA. *Marine Biology*, 33(1), 21-32.

Thomann, R. V., & J. A. Mueller. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. Harper Collins Publishers, Inc. New York

Torres-Orozco, R., & J. L. García-Calderón. (1995). *Introducción al manejo de datos limnológicos*. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa México, DF. 130 p.

Utrera-López, M. E., & P. Moreno-Casasola. (2008). Mangrove litter dynamics in la mancha Lagoon, Veracruz, México. *Wetlands Ecology and Management*, 16(1), 11-22.

Valdés Lozano, D. S. & E. Real de León. (1997). Balance de nitrógeno y fósforo en la Laguna Río Lagartos. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Mérida. Departamento de Recursos del Mar. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. B003. México D. F. 1-56 pp.

Vidal M. (1994). La dinámica del fosfato está vinculada a las perturbaciones de los sedimentos en la bahía de Alfacs (noroeste del Mediterráneo). *Marine Ecology Progress Series* 110: 211-221.

Vollenweider, R. A., R. Marchetti & R. Viviani (Eds.). (1992). *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 1310 p.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and river ecosystems*. 3rd. Edition. Academic Press. San Diego. 1006 págs.

Wetzel, R. G. & G. E. Likens. (1991). *Limnological analyses*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 391 p.

Yáñez-Arancibia, A., & J. W. Day. (2004). Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*, 47(11-12), 727-757.

Zar, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. 5th ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.