



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

MONITOREO QUINCENAL DE CLOROFILA *a*  
Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN TRES  
LOCALIDADES DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO  
(EL BORDO, LA VIRGEN Y EL JAPÓN)  
PERÍODO 11 DE AGOSTO AL 3 DE NOVIEMBRE 2008.

**REPORTE DE INVESTIGACIÓN**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A

**FELIPE XOLALPA LAUREL**

TUTORA: DRA. ROSA LUZ TAVERA SIERRA

2009





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
Secretaría General  
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ  
Jefe de la División de Estudios Profesionales  
Facultad de Ciencias  
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

**Monitoreo quincenal de clorofila a y parámetros fisicoquímicos en tres localidades de los canales de Xochimilco (El Bordo, La Virgen y El Japón) periodo 11 de agosto al 3 de noviembre 2008**

realizado por **Xolalpa Laurel Felipe** con número de cuenta **0-8216536-3** quien ha decidido titularse mediante la opción de **actividad de apoyo a la investigación** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Eberto Novelo Maldonado

Propietario Dr. Javier Carmona Jiménez

Propietario Dra. Rosa Luz Tavera Sierra  
Tutora

Suplente M. en C. Guadalupe Vidal Gaona

Suplente M. en C. Jenny Beltrán Magos

Atentamente,

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Ciudad Universitaria, D. F., a 10 de septiembre de 2009

EL COORDINADOR DEL COMITÉ ACADÉMICO DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

DR. PEDRO GARCÍA BARRERA

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA  
DE BIOLOGÍA

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo

\*nlm.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Dra. Rosa Luz Tavera, al Dr. Eberto Novelo y a la M. en C. Guadalupe Vidal de quienes obtuve, apoyo palabras de aliento para la realización de este trabajo.

Al Dr. Javier Carmona y M. en C, Jenny Beltrán por sus valiosos comentarios.

A mis padres Irma y Felipe, mis hermanos Alma y Raúl, a mi cuñada Emma por haberme apoyado a alcanzar el objetivo.

A mi compañera Lidia, mis hijos Raúl y Alma Xiomara, Que le dan sentido a todos mis esfuerzos.

A mis sobrinos. Raúl Ángel, Alma Ruth. Por acompañarme en esta experiencia

A mis sobrinos. Miguel, Elizabeth, Leonel. Jessica, Daniel, Jeraldine, Sebastián, esperando que este proyecto les marque una línea a seguir en el futuro.

A mis compañeros y amigos de la carrera: Biól. Guadalupe V., Biol. Enrique S., Biol. Juan José C., Biol. Ricardo R., Biol. Maciel M., :P. de Biol. Mario L., P. de Biol. Israel B. y al C.P. Juan Manuel S.

Al amigo y Compañero Biol. José Trinidad V. por su interés y ayuda en este proyecto.

A los compañeros del laboratorio de Algas Continentales: Zítlalli, Eleonor, Claudia, Ximena, Eva y Jorge.

A mis amigas que siempre tuvieron un momento para darme ánimos Norma y Mireya.

Al patronato Autónomo de Xochimilco, A.C. y al Prof. Benjamín Martínez y Rosas por facilitar el medio de transporte dentro del lago de Xochimilco y su interés en apoyar las investigaciones de este patrimonio cultural de la humanidad.

Y a todos aquellos que he omitido gracias por su ayuda.

***“Era tal la hermosura del paisaje con sus aguas  
Limpias, sus cosechas, su aire puro y transparente,  
Su flora y fauna numerosa, con un clima benigno y acogedor.  
Eran tan claros los cielos y el ambiente que sus moradas  
Decían tener de vecinas las estrellas y las nubes,  
Y tocar y hablar con las montañas.”***

***Reyes H. Alfonso.***



# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	5
<b>OBJETIVOS</b> .....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos particulares.....	7
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	8
<b>METODOLOGÍA</b> .....	13
<b>RESULTADOS</b> .....	15
<b>DISCUSIÓN</b> .....	40
<b>CONCLUSIONES</b> .....	46
<b>REFERENCIAS</b> .....	48
<b>ANEXOS</b> .....	51

## RESUMEN

En este trabajo se describen, caracterizan y analizan tres zonas del lago de Xochimilco a través del estudio de los parámetros físicos y químicos, así como su relación con las concentraciones de clorofila *a*. El estudio comprendió siete colectas quincenales, del 11 de agosto al 3 de noviembre del 2008 es decir, durante la época de lluvias. Las zonas de estudio fueron: Canal del Bordo, Laguna de la Virgen y Canal del Japón. En cada recolección se llevaron a cabo determinaciones de los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, irradianza, profundidad de Secchi, oxígeno disuelto, nitrato, nitrito, amonio, fósforo total, sílice y clorofila *a*. Para el análisis de datos se empleó el software estadístico SPSS Statistics versión 17.0. El análisis estadístico se basó en análisis de regresiones y estableció que la variabilidad interna de los datos es estadísticamente significativa sólo para algunas variables predictivas, que fueron diferentes dependiendo de la localidad. En la Laguna de la Virgen se estableció que estas variables fueron sílice y pH; en Canal del Bordo fueron conductividad, pH y transparencia y en Canal del Japón las variables significativas fueron amonio, fósforo y conductividad, sólo después de la transformación de los datos a valores logarítmicos. Con estas variables se elaboraron modelos para interpretar la variación del fitoplancton, evaluado como concentración de clorofila *a*.

## INTRODUCCIÓN.

El proceso de eutrofización natural se conoce como el “envejecimiento” de los lagos inducido por efectos naturales (Rast & Holland 1988) sin embargo, este término se ha utilizado para definir el fenómeno provocado por desechos humanos, llamándolo eutrofización cultural o simplemente eutrofización y que es “el sobreabastecimiento de los nutrientes de nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua, con el consecuente crecimiento acelerado de fitoplancton y macrofitas (Harper, 1992).

De acuerdo al estado o nivel trófico se puede clasificar a los lagos en oligotróficos, mesotróficos y eutrófico. El término oligotrófico significa pobre en nutrientes, eutrófico, rico en nutrientes. La mesotrofia es una condición intermedia entre ambos (Margalef, 1983). Los valores y variables asociadas a la eutrofización (Lampert & Sommer, 1977) serían las siguientes:

	Oligotrófico	Eutrófico
Fosforo total	<10 $\mu\text{g/l}$	>30 $\mu\text{g/l}$
Biomasa algal	0.02 - 0.10 mg/l	> 0.3 mg/l
Disco Secchi	> 4 m	< 2 m

Los desechos que generamos en nuestra vida diaria, que no son tratados correctamente, son fuente de nutrientes, por lo que son una contribución para que este proceso se presente de manera acelerada. Los florecimientos de algas son un indicador importante de eutrofización y los podemos observar como manifestaciones poco atractivas del color “verde” y turbio del agua, (Gleick, 1993).

Los investigadores del medio ambiente confirman que el proceso de eutrofización amenaza la conservación de los cuerpos de agua y por las evidencias observadas de los efectos dañinos que causa a la vida acuática se ha convertido en un desafío a la comunidad científica. Los Estados Unidos de Norte América, Reino Unido, Noruega, Suecia y Australia, lo han considerado un tema de investigación de alta prioridad. Por esta razón, en los países desarrollados se han establecido programas de investigación que

consideran la reducción de las fuentes de contaminación en los cuerpos de agua, para poder controlar el proceso de eutrofización (Vollenweider, 1992).

Diversos trabajos científicos han documentado la existencia de los problemas ambientales y la pérdida de la calidad del agua por el enriquecimiento de nutrimentos en la zona, pero en su mayoría refieren casos particulares de países localizados en latitudes templadas (Vollenweider, 1992; Tett *et al.*, 2003).

Se ha propuesto elaborar un modelo global verdadero del proceso de eutrofización y para lograrlo se requieren más estudios que evalúen las respuestas al estímulo del aporte de nutrimentos (Cloern, 2001). Las respuestas a este estímulo podrían manifestarse con cambios en la concentración de clorofila, en la transparencia del agua, producción primaria, biomasa de macroalgas, sedimentación de carbono orgánico, proporciones del nitrógeno, fósforo y silicio, en crecimientos masivos de algas tóxicas, en la comunidad de fitoplancton, biomasa y comunidad del bentos, calidad y diversidad del hábitat, de los nutrimentos.

Las alteraciones que se producen en los cuerpos de agua, tanto por la urbanización como las actividades agrícolas incluyen el aumento en el tiempo de la residencia del agua, estratificación y disminución de la turbulencia en algunos casos; originándose a su vez una alteración en los niveles de oxígeno y modificaciones en el balance de nutrimentos. Al alterarse estos elementos se modifican las tramas tróficas. Por lo tanto, se deben implementar estudios para conocer el grado de perturbación en los ecosistemas dulceacuícolas para potencializar su uso (Kevem *et al.*, 1996). En sistemas acuáticos lenticos y someros, la característica principal de una dinámica que sostiene la estructura y función del sistema, es la calidad del agua la cual puede ser mantenida gracias a varios mecanismos que actúan a diferentes escalas de espacio y tiempo. Por ejemplo, el arrastre de sedimentos, normal en época de lluvia y el consiguiente azolve del lago es disminuido por la vegetación terrestre que se encuentra en sus orillas. Asimismo, el zooplancton previene la sobrepoblación de micro algas y transfiere los nutrimentos eficientemente hacia niveles tróficos superiores. De igual forma, la transparencia permite el paso de la luz al fondo lo que favorece el crecimiento de macrófitas que acumulan el exceso de nutrimentos en sus tejidos y a la vez son zonas de alimento y criadero de una diversidad de organismos acuáticos (Carpenter & Lathrop, 1999).

Se puede establecer que en temporada de lluvias los sistemas acuáticos reciben aportes con alto contenido de materia orgánica, ocasionado por el arrastre de productos de la depuración de los excrementos de ganado, el filtrado del agua a través del suelo y la erosión que se presenta en las tierras de cultivo (Mason, 2000).

La alteración de cualquiera de estos mecanismos, como un exceso de nutrimentos o el aumento en la cantidad de sedimentos puede ocasionar que en el sistema ocurran ajustes graduales hasta llegar a un punto crítico en el cual se rebasa la capacidad de resistencia y los mecanismos de autorregulación se descontrolan, dando origen a la eutrofización del sistema (Shaffer *et al.*, 2001). En las comunidades acuáticas, el fitoplancton tiene un papel central ya que normalmente constituye la fuente más importante de materia y energía para la cadena trófica. En el fitoplancton la captación de la energía luminosa necesaria se realiza a través de los pigmentos fotosintéticos presentes. El principal es la clorofila *a*, presente en todos los organismos fitoplanctónicos. La absorción máxima de la clorofila *a* ocurre en 2 bandas 430 y 665 nm. Otros pigmentos accesorios, amplían el espectro de absorción, haciendo más eficiente la utilización de la luz. Algunos ejemplos son las clorofilas *b* y *c*, *B*-carotenos, xantofilas, ficoeritrinas y ficocianinas entre otros.

Además de la luz, los nutrimentos, particularmente el nitrógeno y fósforo, son otros factores que limitan la producción del fitoplancton (Lampert & Sommer, 1997). La mayor parte de los estudios indican que un incremento del fitoplancton es una respuesta al incremento previo de los nutrimentos.

## JUSTIFICACIÓN

El ecosistema lacustre de Xochimilco en la época prehispánica se conformaba por manantiales, lagos y ojos de agua dulce, entre otros sistemas hídricos que favorecían la actividad agrícola, debido a la confiabilidad en calidad y pureza del agua (Lot y Novelo, 2004), sin embargo el sistema chinampero se ha debilitado paulatinamente debido a la creciente incorporación de factores adversos de índole social y ambiental tal como la explosión demográfica, demanda de servicios, generación de aguas residuales e incorporación de fertilizantes químicos y aguas residuales parcialmente tratadas, a los canales. En la actualidad, uno de los problemas centrales de Xochimilco es la deficiente calidad del agua que alimenta los canales chinamperos y parte de la zona agrícola ejidal. Las fuentes más importantes de contaminación son: las descargas de aguas residuales domésticas, las actividades productivas como la ganadería y el empleo de fertilizantes químicos en la agricultura que fluyen fácilmente hacia el lago provocando su enriquecimiento. Esto también ha sido anotado por Cloern (2001). Por otro lado, la mayor parte del agua proveniente de la planta tratadora del Cerro de la Estrella, que ha alimentado por décadas la zona lacustre, aún no alcanza su óptima calidad.

El Lago de Xochimilco es uno de los cuerpos de agua en el que se han realizado gran variedad de trabajos, la mayoría enfocados en los análisis de parámetros físicos, químicos y en algunos otros, de aspectos biológicos y ecológicos. En muchos trabajos se cataloga al lago de Xochimilco como un cuerpo de agua eutrofizado (Díaz y Domínguez, 2003). El lago de Xochimilco es un recurso del cual depende en gran medida la economía local, además posee un alto valor biológico, por sus endemismos (entre los que se encuentran *Ambystoma mexicanum* Shaw & Nodder y *Cambarellus montezumae* Ortmann). Xochimilco también es significativo por su variedad de paisajes, los cuales lo han convertido en una zona prioritaria de conservación (DDF, 1997) además de que Xochimilco fue inscrito en la lista de Patrimonio de la Humanidad en el año 1987, que lo identifica como “un ejemplo destacado de la utilización de las tierras en la zona lacustre del Valle de México, representativo del hábitat y del uso de la tierra que se ha vuelto vulnerable por efectos de cambio irreversible en su entorno” (Canabal, 1997).

Aunque Xochimilco es actualmente un sistema de canales, algunos más o menos amplios como Laguna de la Virgen, puede considerarse en la categoría de los lagos urbanos, que son sistemas dinámicos que están sometidos a constantes cambios, tanto naturales, como aquellos que son provocados por el hombre, por lo que comúnmente son

eutróficos; por esta razón es necesario contar con información confiable para entender los cambios que suceden en este tipo de sistemas eutróficos con el propósito de mejorar las condiciones de calidad del agua. Además de diseñar medidas adecuadas de control, aprovechamiento y posible restablecimiento de la calidad del agua del lago de Xochimilco.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar los cambios de la comunidad fitoplanctónica expresados en biomasa (clorofila *a*) de acuerdo a las variaciones ambientales y nutrimentos, en tres zonas del lago de Xochimilco.

### **Objetivos particulares**

- Medir las concentraciones de clorofila *a* como un mecanismo para monitorear los cambios en el fitoplancton de algunos canales de Xochimilco.
- Medir los parámetros ambientales generales, como temperatura, pH, concentraciones de oxígeno disuelto y conductividad, para darle un contexto ambiental a las variaciones en biomasa fitoplanctónica (clorofila *a*).
- Medir particularmente la irradianza subacuática, la transparencia y la concentración de nutrimentos que sabemos afectan directamente la biomasa del fitoplancton (clorofila *a*).
- Elaborar modelos que reflejen el variación del sistema acuático, analizado a través del comportamiento del fitoplancton.

## ÁREA DE ESTUDIO.

El lago de Xochimilco se localiza al sur de la Ciudad de México, D.F., al pie de la Sierra del Chichinautzin a una altura promedio de 2240 m.s.n.m. El lago se localiza en los  $19^{\circ}15' 11''$  y  $19^{\circ}15' 19''$  de latitud norte y los  $98^{\circ}58''$  y los  $99^{\circ}10''$  longitud oeste (INEGI 2001). Los canales estudiados se ubican en el área natural protegida (ANP) "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco" y se localizan en la porción centro y norte de la Delegación política de Xochimilco (Figura 1). Los sitios en los que se realizó este estudio fueron determinados por el grado de perturbación del sistema, es decir una zona con actividad turística, zona con cultivos agrícolas y zona ganadera (Bordo, Virgen y Japón).



Figura 1. Ubicación de los sitios en los que se realizó el estudio (www. Google-earth.es.).

Laguna de la Virgen. Esta zona se ubica en la latitud norte  $19^{\circ}16.621'$  y  $99^{\circ}05.382'$  longitud oeste. En esta laguna confluyen tres canales y uno de los canales procede del canal Cuemanco. En esta zona la afluencia de personas es escasa al igual que el paso de las embarcaciones, por lo que la circulación del agua no es continua. Su profundidad promedio es de 2 m.

En el centro de esta laguna se encuentra un islote y en todo su alrededor existen chinampas rodeadas de pequeños canales. En sus orillas existe vegetación

acuática emergente enraizada y flotante. En las chinampas que rodean la laguna no existen asentamientos humanos, pero si se observa que las chinampas son cultivadas con hortalizas y flores, y se puede considerar que la actividad agrícola es moderada. Sin embargo, es probable que exista un aporte constante de nutrimentos orgánicos e inorgánicos debido a la fertilización y aporte de desechos orgánicos tanto de animales como plantas de la zona.

Canal Japón. Esta zona se ubica en las coordenadas 19°17'151" latitud norte y 99°04'244" longitud oeste. Este canal es la continuación del Canal del Bordo, mide entre 10 y 13 m de ancho con una longitud aproximada de 1.5 km y termina en forma de un recodo al llegar a la Av. Canal de Chalco. Mantiene una profundidad promedio de 2 m.

En dirección sureste se encuentran terrenos ejidales, que fueron expropiados como parte de la Reserva ecológica. En la ribera norte se encuentra la cuenca lechera. En temporada de lluvia el lirio acuático (*Eichiornia crassipes* (Mart) Solms) llega a cubrir el canal casi en su totalidad. Hay aporte de desechos orgánicos procedentes de la cuenca lechera y cultivo de plantas ornamentales. En este sitio la afluencia de personas es escasa al igual que el paso de embarcaciones. (Figura 3).

Canal del Bordo. Esta zona de muestreo comienza con la intersección que forma el canal de Cuemanco y la entrada al lago Huetzalin (entrada al Parque Ecológico de Xochimilco, PEX) y se localiza en 19°17'05" latitud norte y 99°05'45" de longitud oeste, terminando en un recodo que conecta con el canal Japón. Su longitud es de 2.4 km y su profundidad varía entre 40 cm y 1 m, dependiendo de la época del año. El canal es vía de paso hacia los canales ubicados en el centro de la zona chinampera, por lo que el tránsito de embarcaciones es constante tanto de trajineras como de lanchas de motor. En la ribera este se asientan chinampas dedicadas a la agricultura. Cabe destacar que en el inicio de Canal del Bordo se encuentra un embarcadero turístico con locales comerciales.

En este canal los asentamientos humanos son mínimos y por lo tanto prácticamente no hay drenaje que llegue al canal, el aporte de materia orgánica es básicamente de tipo agrícola y de materia vegetal (Figura 4).



**Figura 2. Laguna de la Virgen**



**Figura 3. Canal del Japón**



**Figura 4. Canal del Bordo**

## **Hidrografía**

Actualmente, por la intensa actividad del hombre, el sistema lacustre de Xochimilco se encuentra reducido a canales, apantles, lagunas permanentes y de temporal (Lot et al., 1979). Se estima una longitud aproximada de 203 km de canales interconectados, cuya profundidad varía (60 cm en algunos canales y zonas inundadas, o como en el caso de algunas lagunas cuya profundidad alcanza de 3 a 6 m). Los canales y lagunas son alimentados de manera artificial con aguas residuales tratadas de las plantas del Cerro de la Estrella, cuyo aporte aproximado es de  $1\text{ m}^3/\text{s}$ ; de San Luis Tlaxialtemalco, con un aporte de  $0.225\text{ m}^3/\text{s}$ , y de San Lorenzo Tezonco. Otra fuente de abastecimiento son los escurrimientos superficiales originados por los arroyos de Santiago, Parres, San Lucas y San Gregorio (DDF, 1997). En esta zona se encuentran 10 canales (Cuemanco, Apatlaco, Tlicuilli, Nacional, Texhuilo, Ampipilco, Japón, La Noria, Amelalco y Atlitic), así como 7 lagunas importantes (El Toro, La Virgen, Tlilac, Tlicuilli, Texhuilo, Caltongo y Xaltocan. Los principales afluentes son el Canal Nacional que acarrea las aguas residuales de la Ciudad de México, el agua que proviene de la planta tratadora de aguas negras del Cerro de la Estrella por canal de Garay, así como ríos temporales que descienden de las montañas cercanas, además de aportes pluviales y por agua de drenaje urbano de la zona. Los manantiales más importantes de agua potable son: San Luis, Santa Cruz, Nativitas y la Noria. El agua de estos manantiales está entubada y se utiliza para abastecer a la ciudad de México (INEGI, 2001).

## **Clima**

El clima de la zona es del tipo  $C(W_2)(w) b(i')$  que corresponde al templado sub húmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 1100mm para la sierra y de 700 mm para la planicie lacustre. La temperatura promedio es de  $15^\circ\text{C}$ , el mes más caluroso es mayo con  $20^\circ\text{C}$  y el más frío enero con  $10^\circ\text{C}$  (García 1973, INEGI 2001).

## **Vegetación**

En la zona lacustre de Xochimilco se registran aproximadamente un total de 107 especies de plantas, pertenecientes a 55 familias. Del total de especies, 59 son cultivadas y 48 silvestres (Salas, 1988). En la zona se encuentran plantas acuáticas flotantes como: *Eichornia crassipes* (Mart) Solms, *Lemna minor* L., *Spirodela polyrriza* L. Plantas

acuáticas sumergidas: *Cabomba* sp y *Potamogeton* sp y plantas acuáticas emergentes *Hidrocotyle rannunculoides* L., *Typha latifolia* L. Además de plantas tradicionales como el ahuejote *Salix bonplandia* Kunth. El ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) y el eucalipto (*Eucalyptus* spp).

La fauna en esta zona es muy variada debido a que existen numerosos microhábitats. Se encuentran representados 70 géneros en 37 familias de invertebrados, así como 95 géneros en 31 familias de vertebrados.

En la columna del agua se encuentra una variedad importante de organismos, entre los que está el ajolote (*Ambystoma mexicanum* Shaw & Nodder), el acocil (*Cambarelus montezumae* Ortmann), la carpa dorada (*Carassius auratus* L.), y la rana montezuma (*Rana montezumae* Baird) (Ávila, 2000).

## **METODOLOGÍA**

Se realizaron 7 recolectas quincenales en el periodo de estudio comprendido del 11 de agosto al 3 de noviembre del 2008, las zonas fueron: Canal del Bordo, Laguna de la Virgen y Canal del Japón, en cada zona de estudio se realizaron tres recolecciones, las cuales se trataron de tomar en las zonas de comunicación con otros canales, excepto Japón en donde las recolecciones se hicieron en diferentes zonas ya que el lirio acuático impidió en ocasiones el acceso a la zona original de muestreo.

**Concentración de clorofila a.** A partir de un litro de agua recolectado con un frasco de boca ancha, se separó una submuestra de 100 ml y se filtró en un dispositivo Millipore, utilizando un filtro de fibra de vidrio (GF/C). En cada visita se recolectaron aproximadamente 100 ml de agua para la extracción de pigmentos (clorofila a), así como 250 ml para la determinación de la concentración de nutrientes disueltos (nitrato, amonio, nitrito, fósforo total, sílice). El filtro se dobló y con papel absorbente se eliminó el exceso de agua. El filtro doblado se guardó en papel aluminio en un sobre etiquetado con el número de la muestra. Los sobres conteniendo los filtros se guardaron en una bolsa de plástico; en el laboratorio se colocó la bolsa en refrigeración inmediatamente (técnica en el anexo 2). El pigmento fue estimado como concentraciones en microgramos por litro en cada colecta, con corrección para feofitinas (Lorenzen 1966). Para su determinación se utilizó el espectrofotómetro Hach DR-2010.

**Nutrientes inorgánicos.** La muestra se recolectó en un frasco de boca de ancha y se vació a una botella de agua limpia (de material Pet) de 500 ml. Es necesaria una botella por cada sitio recolectado en cada localidad. La determinación de la concentración de nutrientes inorgánicos, nitrato, nitrito y amonio, fósforo total y sílice, también se realizó por medio del espectrofotómetro Hach DR-2010, utilizando los métodos apropiados registrados en el manual Hach (1977) y técnicas que se detallan en el anexo 2.

### **Factores fisicoquímicos.**

**Disco de Secchi.** Se sumergió el disco hasta que desapareció de la vista y se midió la profundidad.

**Irradianza.** Se colocaron dos fotómetros HOB0 ajustados en un dispositivo a una distancia de 30 cm uno del otro, los registros de irradianza fueron simultáneos en la

superficie y a una profundidad de (30 cm). Los sensores fueron programados para tomar las mediciones cada 10 minutos, coincidiendo con la hora. Fueron descubiertos al momento de la medición, colocándose en el agua y cubiertos nuevamente después del momento de la medición. Posteriormente, las mediciones se recuperaron con el apoyo de software (HOBOWare, versión 2.1.1\_18).

**pH, oxígeno, temperatura, conductividad.** Se utilizaron un potenciómetro y un oxímetro de campo (Conductronic). Ambos equipos corrigen automáticamente la lectura para la temperatura, si el electrodo para temperatura se sumerge en la muestra simultáneamente con el sensor correspondiente. El potenciómetro registró pH y conductividad. La conductividad se registró en Siemens por centímetro ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ); en el caso del oxígeno disuelto, se registró en porcentaje de saturación y en miligramos por litro ( $\text{mg l}^{-1}$ ). Todos los datos obtenidos en los muestreos se muestran en el anexo número 1.

Con los datos obtenidos se efectuó un análisis de varianza simple para evaluar si la variabilidad interna de cada variable era significativa. Con las variables seleccionadas con base en ese análisis, se efectuó un análisis de regresión lineal considerando a la clorofila *a* (indicadora de biomasa fitoplanctónica) como la variable dependiente, así como variables independientes a los factores fisicoquímicos que fueron monitoreados. Para los análisis de varianza y regresión lineal se utilizó el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17.0.

## RESULTADOS.

### NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL.

Aunque las concentraciones de nitrógeno inorgánico total fueron variables durante el periodo de estudio, se observó en todos los sitios un incremento hacia el final de la época de lluvias. En octubre se observó la mayor concentración de nitrógeno inorgánico total en las tres localidades, siendo más elevada en el Canal del Japón (B). Sin embargo, considerando la concentración promedio en las demás fechas, fue en el Canal del Bordo (C) en donde el nitrógeno inorgánico total mostró la mayor concentración en octubre, elevándose aproximadamente 29 veces con respecto al promedio (Figura 5).

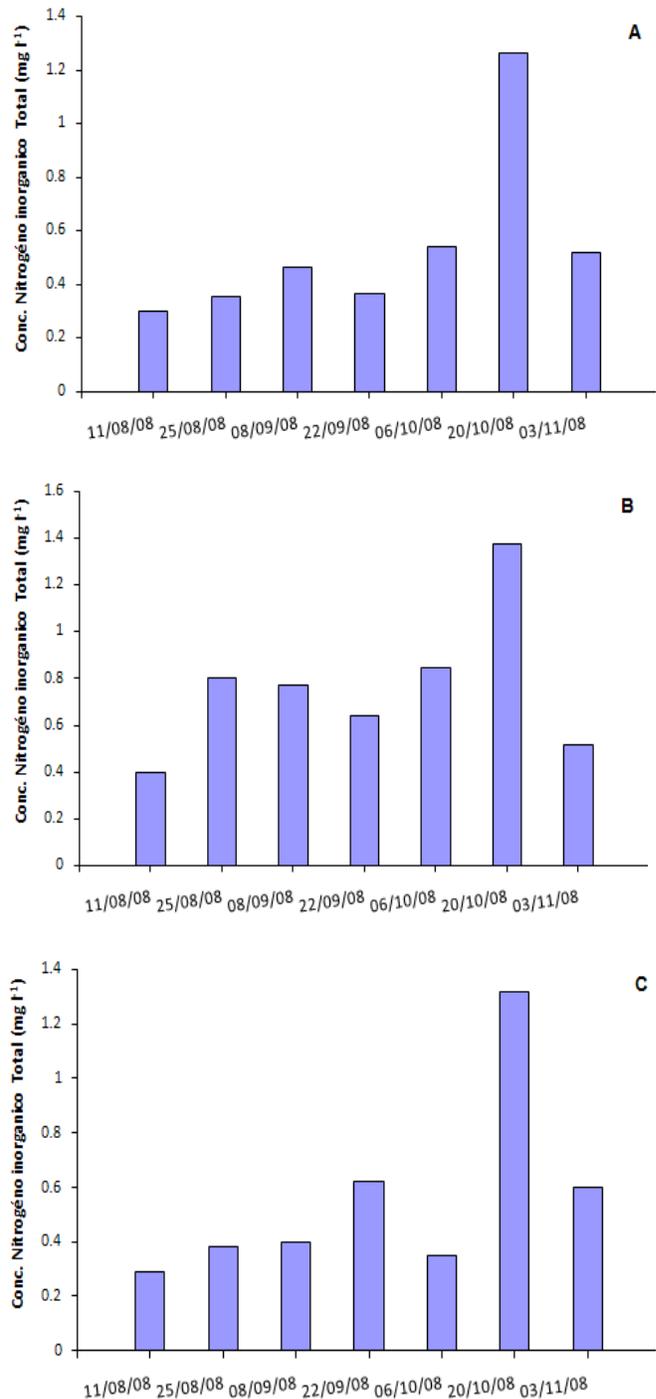


Figura 5. Representación gráfica de la variación temporal de las concentraciones de nitrógeno inorgánico total. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## FÓSFORO TOTAL.

Las gráficas sobre las concentraciones de fósforo total se observan en la Figura 6. La concentración de este nutrimento en estas tres zonas es muy variable. En la zona de Laguna de la Virgen (A) tiene una tendencia al incremento, en el mes de agosto se observa un bajo valor de este nutrimento y tiende a aumentar en octubre en el que se observan los valores más altos, bajando drásticamente en noviembre.

En la zona del Japón (B), se puede observar que en el mes de agosto, el primer muestreo presenta valores altos y en el segundo muestreo tiende a bajar moderadamente pero en el transcurso de los muestreos tuvo una tendencia a incrementarse hasta que en el mes de noviembre los valores de este nutrimento se acercan a los observados en el primer muestreo del mes de agosto. Es interesante que en la zona del Canal del Bordo (C) los valores de fósforo siempre fueron bajos con una ligera tendencia a incrementarse, lo que se pudo observar en el último muestreo de noviembre, cuando se produjo un incremento bastante elevado aproximadamente de unas 46 veces en su nivel más bajo (Figura 6).

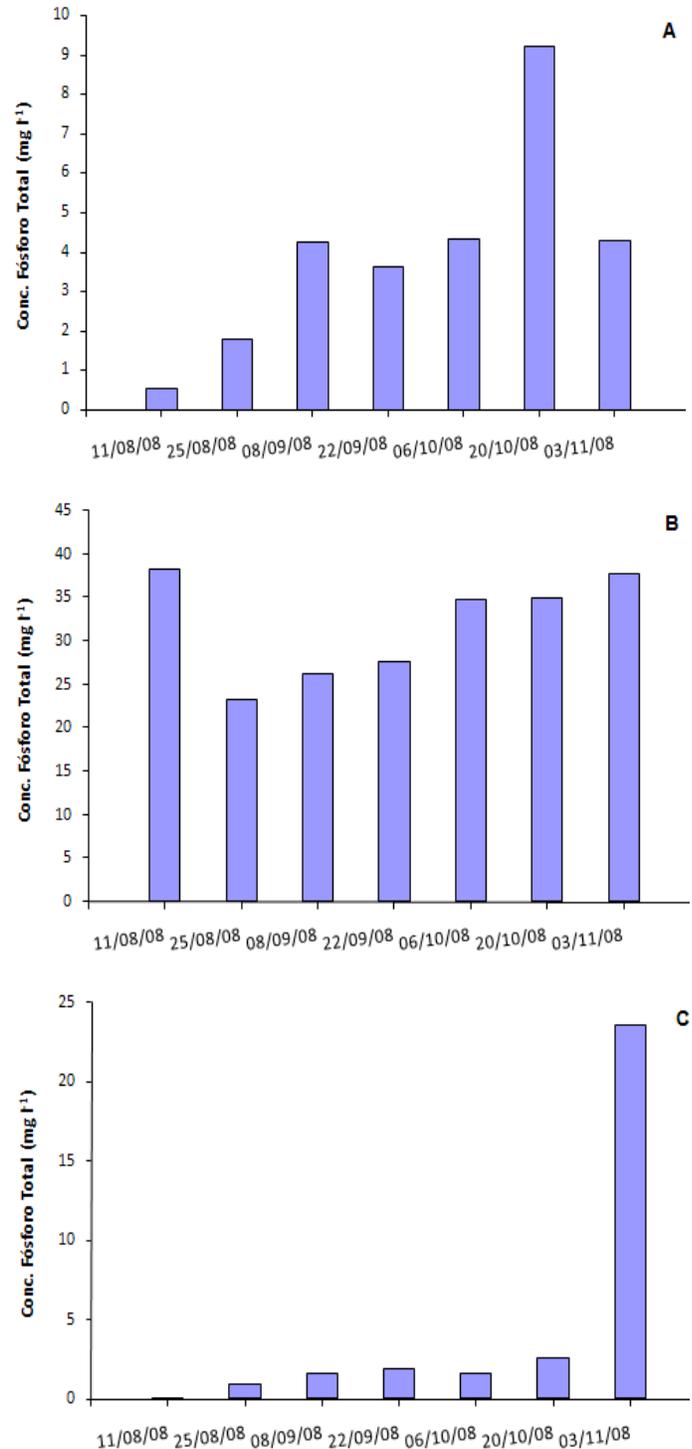


FIGURA 6. Representación gráfica de la variación temporal de las concentraciones de fósforo total. Zonas: (a) laguna de la virgen, (b) canal del Japón y (c) canal del Bordo.

## SÍLICE

Aunque las concentraciones de sílice fueron variables durante el estudio, en octubre se observó la mayor concentración en todas las localidades, siendo el Canal del Japón el que tuvo una mayor concentración de sílice. Pero cabe destacar que solamente fue ligeramente superior a la Laguna de la Virgen (Figura 7).

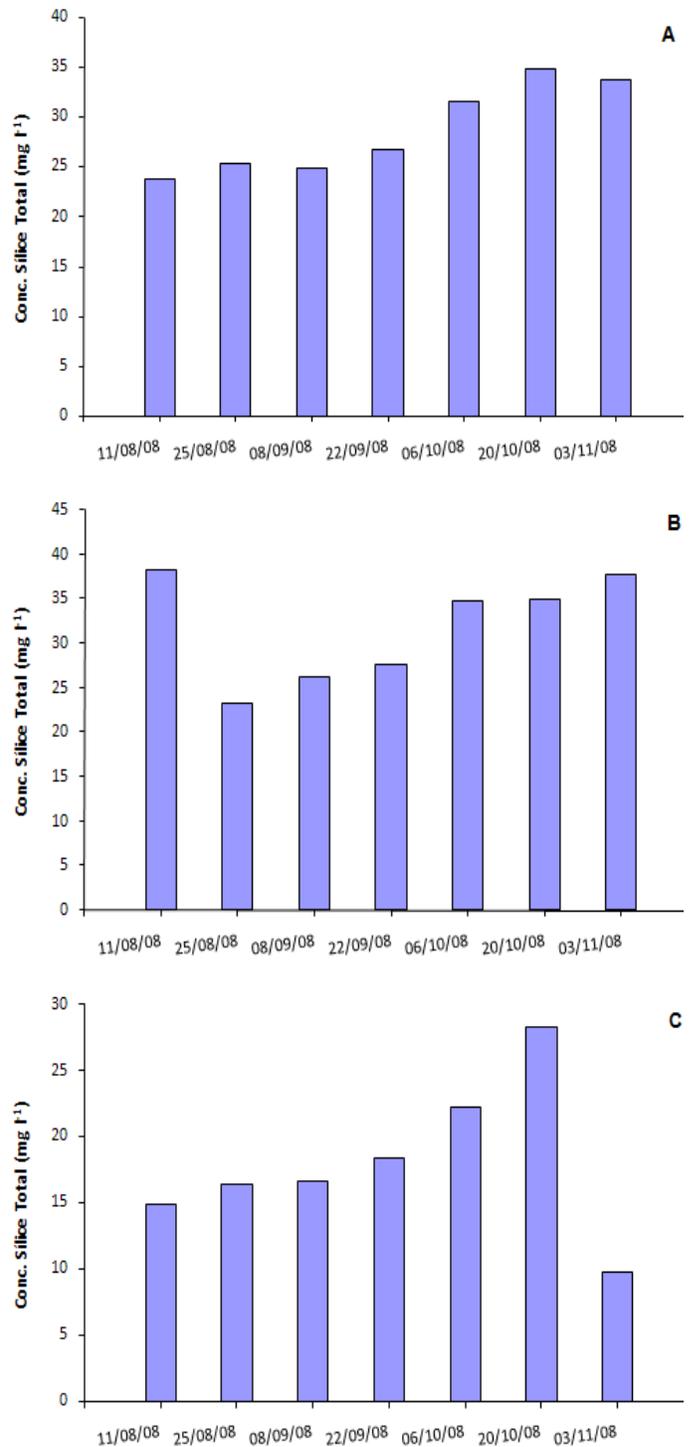


Figura 7. Representación gráfica de la variación temporal de sílice. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## TEMPERATURA (°C)

La variación de la temperatura, tiende a disminuir en las tres localidades durante el período de estudio en aproximadamente un de 7 grados centígrados. La temperatura ambiente mostró un comportamiento homogéneo en las tres estaciones durante los meses de muestreo (Figura 8).

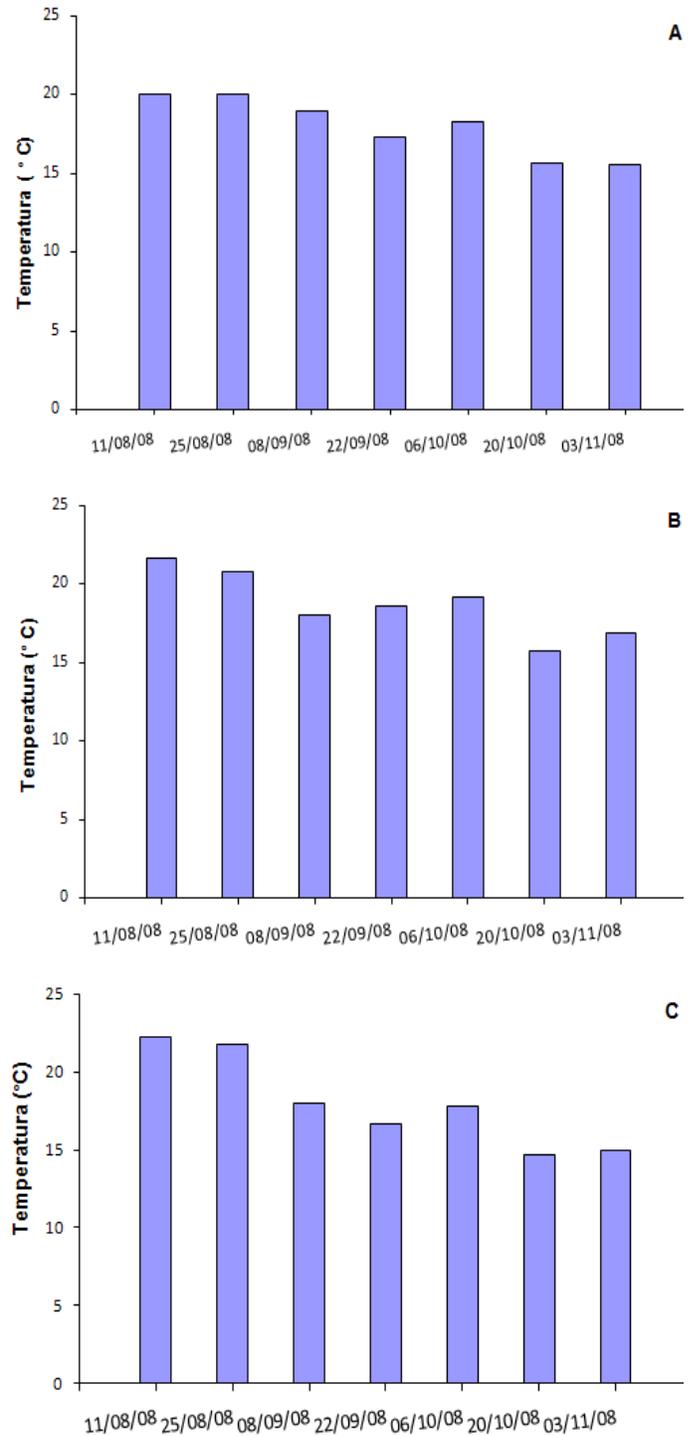


Figura 8. Representación gráfica de la variación temporal de la temperatura. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

pH.

El pH en las tres zonas como en el periodo de muestreo presenta un comportamiento homogéneo, presentando todos los valores un intervalo entre 7 y 10, es decir un pH básico (Figura 9).

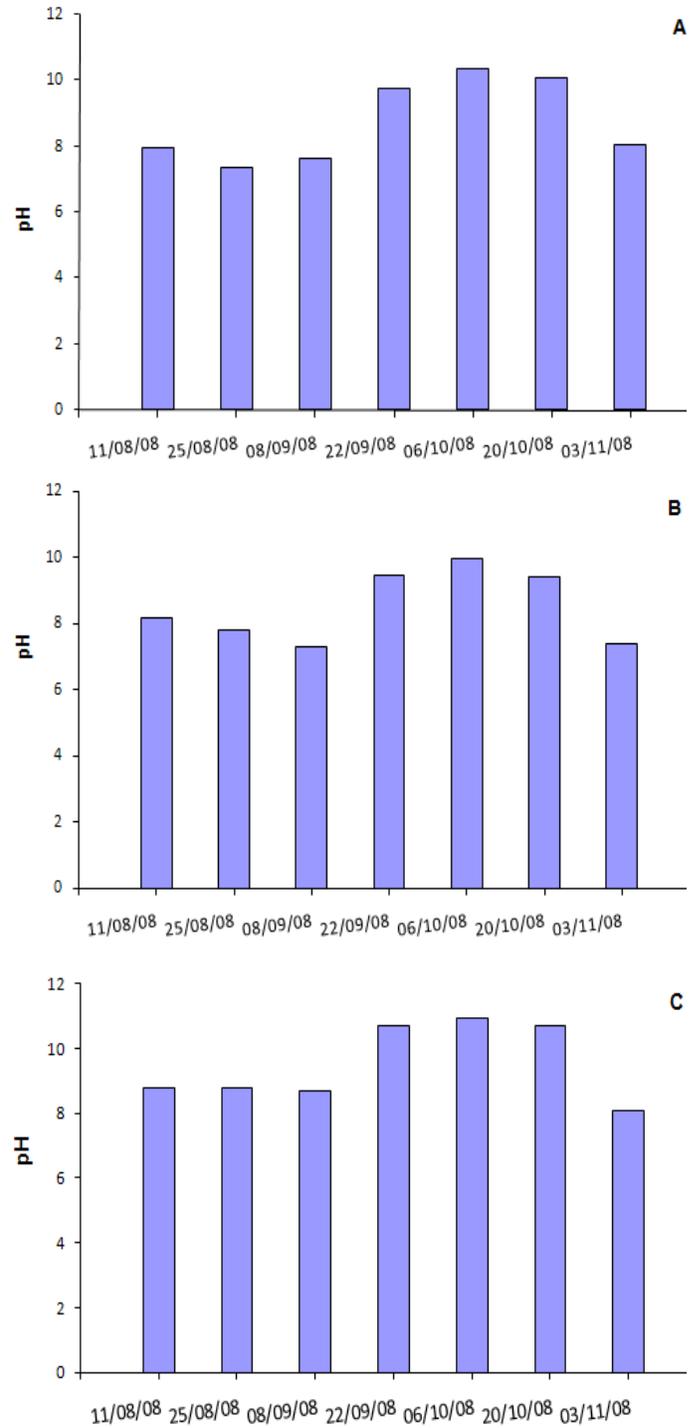


Figura 9. Representación gráfica de la variación temporal de pH. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## CONDUCTIVIDAD

La conductividad, en las zonas de Laguna de la Virgen y Canal del Japón presenta una tendencia ligera a disminuir, pero en Canal del Bordo tiende a incrementarse en el mes de septiembre. (Figura 10).

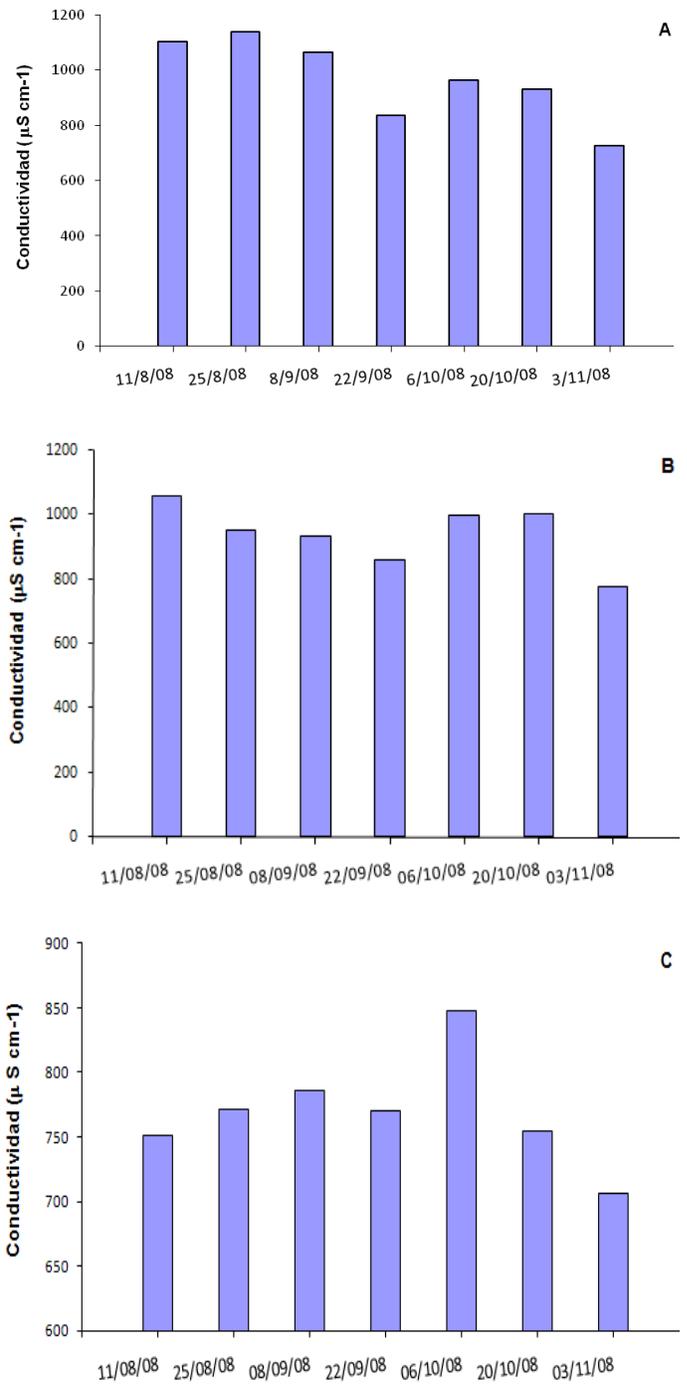


Figura 10. Representación gráfica de la variación temporal de conductividad. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## PROFUNDIDAD DE SECCHI

La menor transparencia en Laguna de la Virgen correspondió al primer muestreo de agosto, mientras que en el segundo muestreo de agosto y el primero de septiembre se presentó la mayor transparencia, con una tendencia a la disminución al final del estudio. Por otra parte en Canal del Japón se observó una tendencia al incremento de la transparencia, ya que la mayor profundidad correspondió al mes de noviembre y la menor al primer muestreo de agosto. En Canal del Bordo prácticamente no se observaron variaciones significativas en las mediciones durante los muestreos, solamente en el último muestreo se observó una disminución como en los otros sitios (Figura 11).

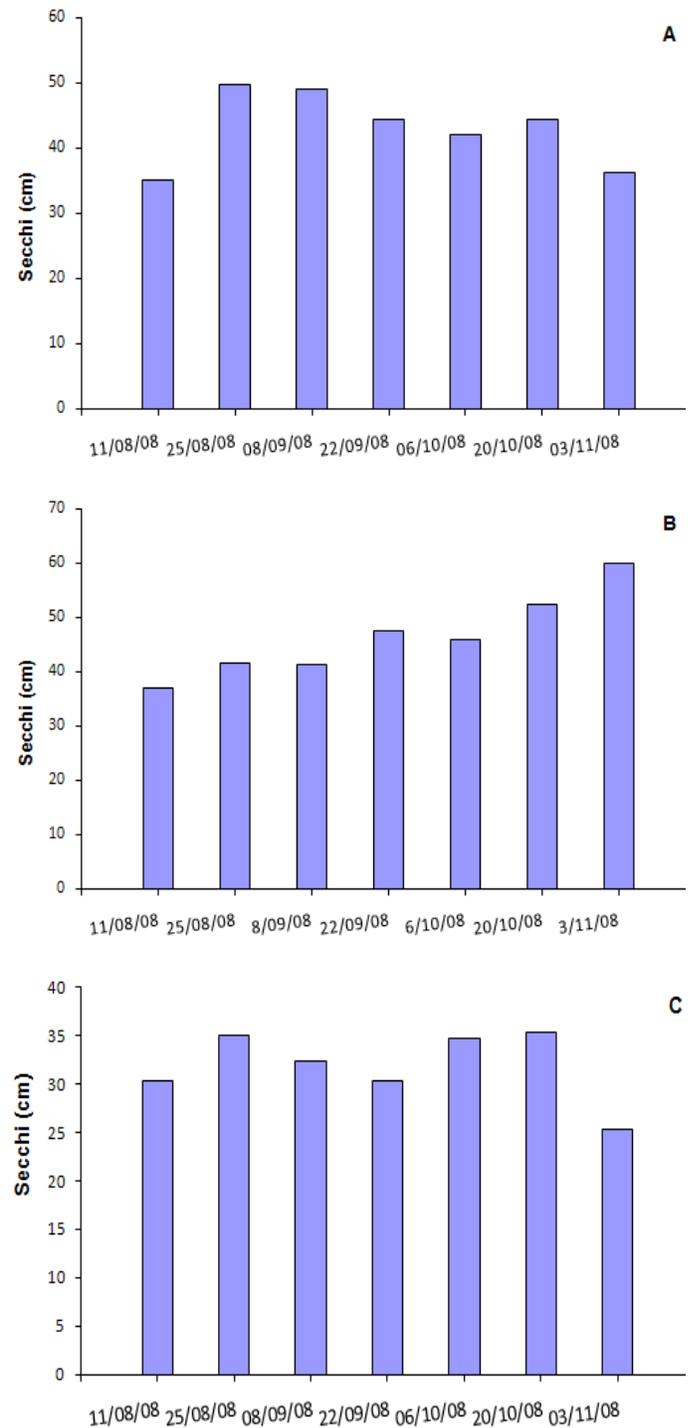


Figura 11. Representación gráfica de la variación temporal de la profundidad de Secchi. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## OXIGENO DISUELTO

La concentración de oxígeno disuelto en el medio tiende a ser estable en las tres zonas de estudio, solo con ligeras fluctuaciones, excepto en el tercer muestreo de septiembre tanto en la zona de Laguna de la Virgen así como en la zona del Canal del Bordo, que tuvieron un decremento importante. Mientras que en Canal del Japón la concentración de oxígeno fue la más elevada y tiende a mantenerse homogénea durante los muestreos (Figura 12).

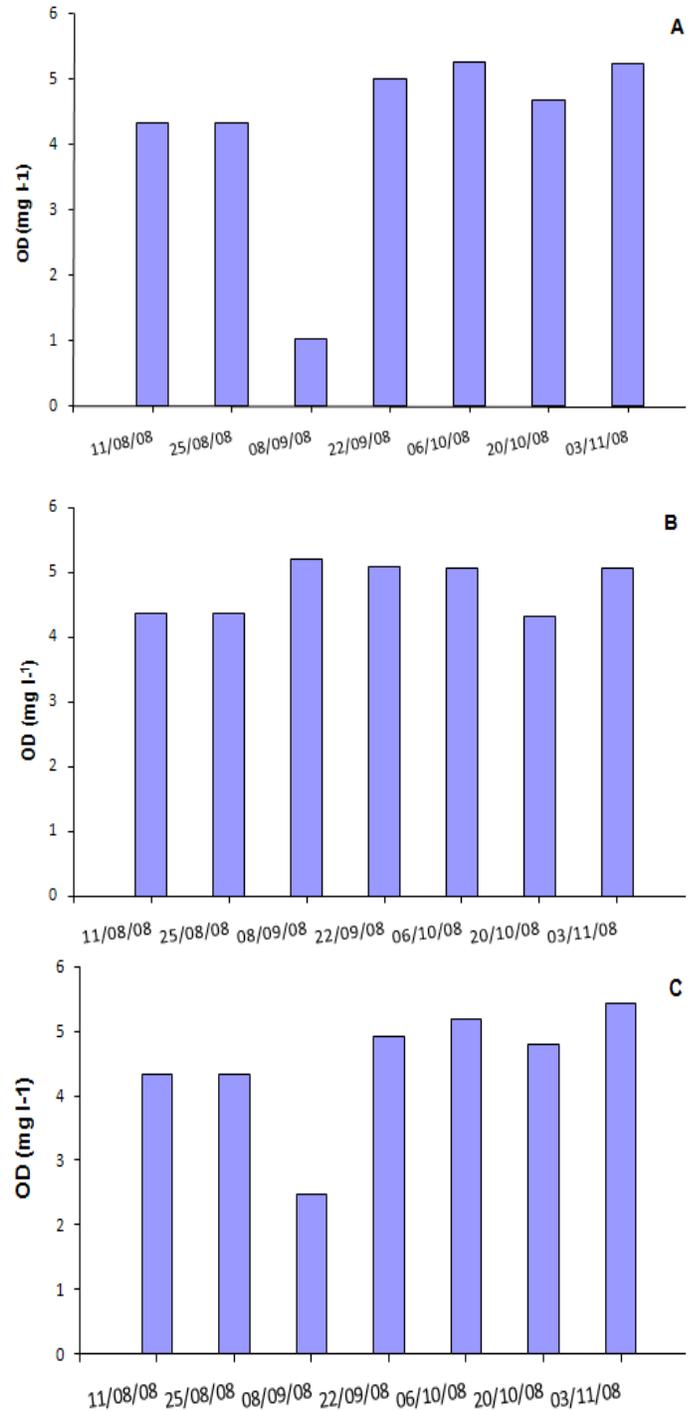


Figura 12. Representación gráfica de la variación temporal de oxígeno disuelto. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## IRRADIANZA

Los valores de radiación sub-acuática tanto en la superficie como en profundidad, en los tres sitios de muestreo fueron muy variables y no muestran una tendencia estable (Figura 13).

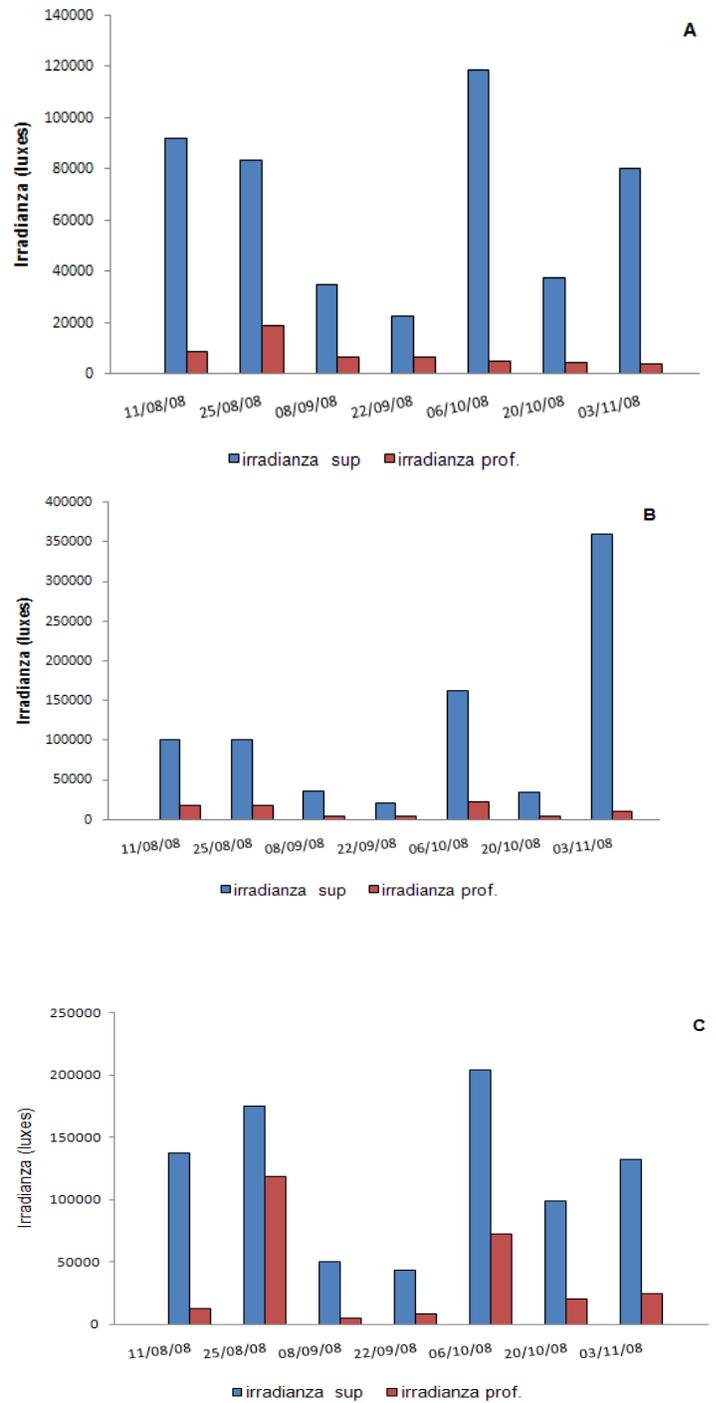


Figura 13. Representación gráfica de la variación temporal de irradiance superficial e irradiance de profundidad. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## CLOROFILA a

Las concentraciones de clorofila a en la zona de Laguna de la Virgen se encuentran en proporciones altas y más estables con respecto a las otras dos zonas, sólo tiende a decrecer ligeramente en su proporción en los últimos muestreos; en las otras zonas de muestreo no se observa un patrón definido (Figura 14).

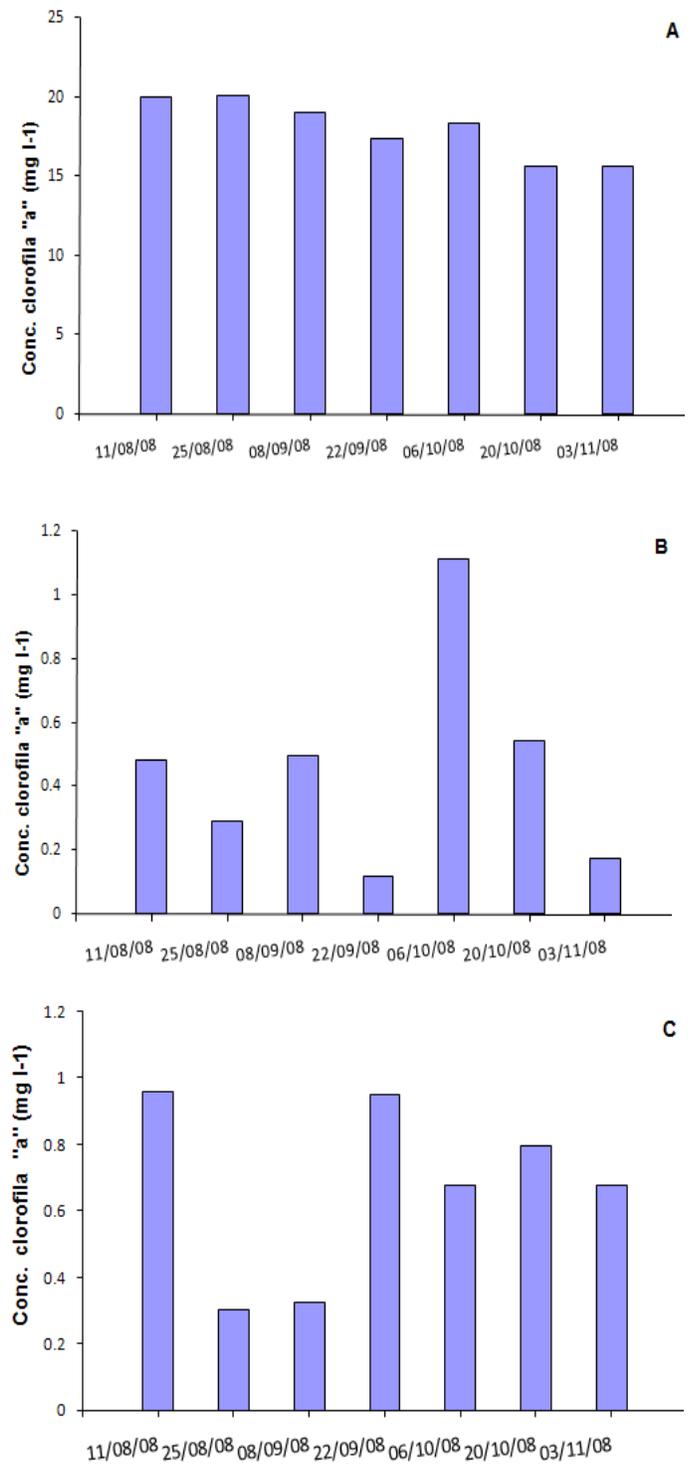


Figura 14. Representación gráfica de la variación temporal de clorofila a. Zonas: (A) Laguna de la Virgen, (B) Canal del Japón y (C) Canal del Bordo.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El primer análisis de varianza (no se presenta este análisis) mostró que las variables que tuvieron una variabilidad interna significativa fueron amonio, fósforo, sílice, transparencia, pH y conductividad. Las variables nitrito y nitratos inorgánicos e irradiación no mostraron ser significativas para soportar un análisis de regresión.

Seleccionando los parámetros con variabilidad interna significativa, se realizó entonces un análisis de regresión múltiple que mostró que la clorofila *a* en las tres localidades estudiadas está correlacionada significativamente con las variables predictivas: amonio, fósforo, sílice, transparencia, pH y conductividad. Los análisis de regresiones lineales permitieron establecer modelos para cada zona de estudio.

### Laguna de la Virgen

En Laguna de la Virgen, el resumen del modelo de regresión produce una  $R^2$  alta de 0.721 y atendiendo al valor de la  $R^2$  ajustada, el 60% de la varianza en la clorofila puede explicarse en función de los nutrientes amonio, fósforo y el sílice que puede ser considerado un nutriente, así como en función de la transparencia del agua, el pH y la conductividad. Estos valores son bastante buenos y el valor de Durbin-Watson está próximo a 2, que es un valor óptimo (Tabla 1).

Tabla 1. Evaluación del modelo de regresión para la Laguna de la Virgen.

R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error de estimación	Durbin –Watson
.721	.602	.35868	2.149

a. Variable Predictora: Transparencia, pH, Conductividad, Amonio, Sílice, Fósforo.

b. Variable Dependiente: Clorofila

El ANOVA del análisis de regresión mostró mucha diferencia entre el modelo reducido es decir sólo con el término constante y el modelo con las 6 variables predictivas ( $p=0.003$ ): (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para evaluación de la idoneidad de los coeficientes de regresión.

Suma de Cuadrados	grados de libertad	suma de cuadrados	f	significancia
6.467	20	9.07	6.044	.003

- a. Variable Predictora: Transparencia, pH, Conductividad, Amonio, Sílice, Fósforo.  
b. Variable Dependiente: Clorofila

Sin embargo, los resultados de los coeficientes mostraron valores de beta suficientemente alejados de 0 solo para el sílice y el pH; además, los valores de tolerancia para las demás variables son en general relativamente pequeños, así que podría haber cierta colinearidad entre las variables predictivas para este modelo (Tabla 3).

Tabla 3. Evaluación de los coeficientes de regresión.

Modelo	Beta	tolerancia	significancia
Constante		-2.439	.029
Amonio	.036	.175	.864
Fósforo	.442	-.608	-.130
Sílice	.636	2.382	.032
pH	.685	3.120	.008
Conductividad	.053	.264	.795
Transparencia	.001	.005	.996

Por estas razones se decidió modificar el modelo de regresión conservando solo sílice y pH.

El resumen de este nuevo modelo, aunque produjo una R cuadrada un poco menor 0.649, la R cuadrada ajustada se elevó a 0.610 lo que significa que aumentó la proporción de la varianza de clorofila que puede ser explicada en el nuevo modelo. Por

otra parte, el valor de Durbin–Watson todavía es cercano a dos por lo que es bastante aceptable. (Tabla 4).

Tabla 4. Evaluación del modelo de regresión para la Laguna de la Virgen.

R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error de estimación	Durbin –Watson
.649	.610	.35509	2.204

- a. Variable Predictora: pH, Sílice
- b. Variable Dependiente: Clorofila

Tabla 5. Análisis de varianza para evaluación de la idoneidad de los coeficientes de regresión El ANOVA del análisis de regresión tiene una significancia de 0.0005.

Suma de Cuadrados	grados de libertad	suma de cuadrados	f	significancia
6.467	20	2.225	16.644	.000

- a. Variable Predictora: pH, Sílice
- b. Variable Dependiente: Clorofila

Los resultados de los coeficientes de sílice y pH, mostraron valores de beta suficientemente alejados de 0, los valores de significancia son pequeños y los valores de tolerancia son altos, lo que nos indica que hemos eliminado la colinearidad entre las variables predictivas para este modelo: (Tabla 6).

Tabla 6. Evaluación de los coeficientes de regresión.

Modelo	Beta	tolerancia	significancia
Constante		-4.635	.000
Sílice	.350	2.072	.053
pH	.556	3.294	.004

La frecuencia de estos valores sigue una distribución normal y la gráfica de probabilidades se ajusta bastante a una recta y esto se comprueba en la grafica de comparación de igualdad de varianza para residuales en la que los valores se distribuyen como una nube y los valores predichos por el modelo, positivos y negativos, se dispersan equitativamente con respecto a 0 (figura 15).

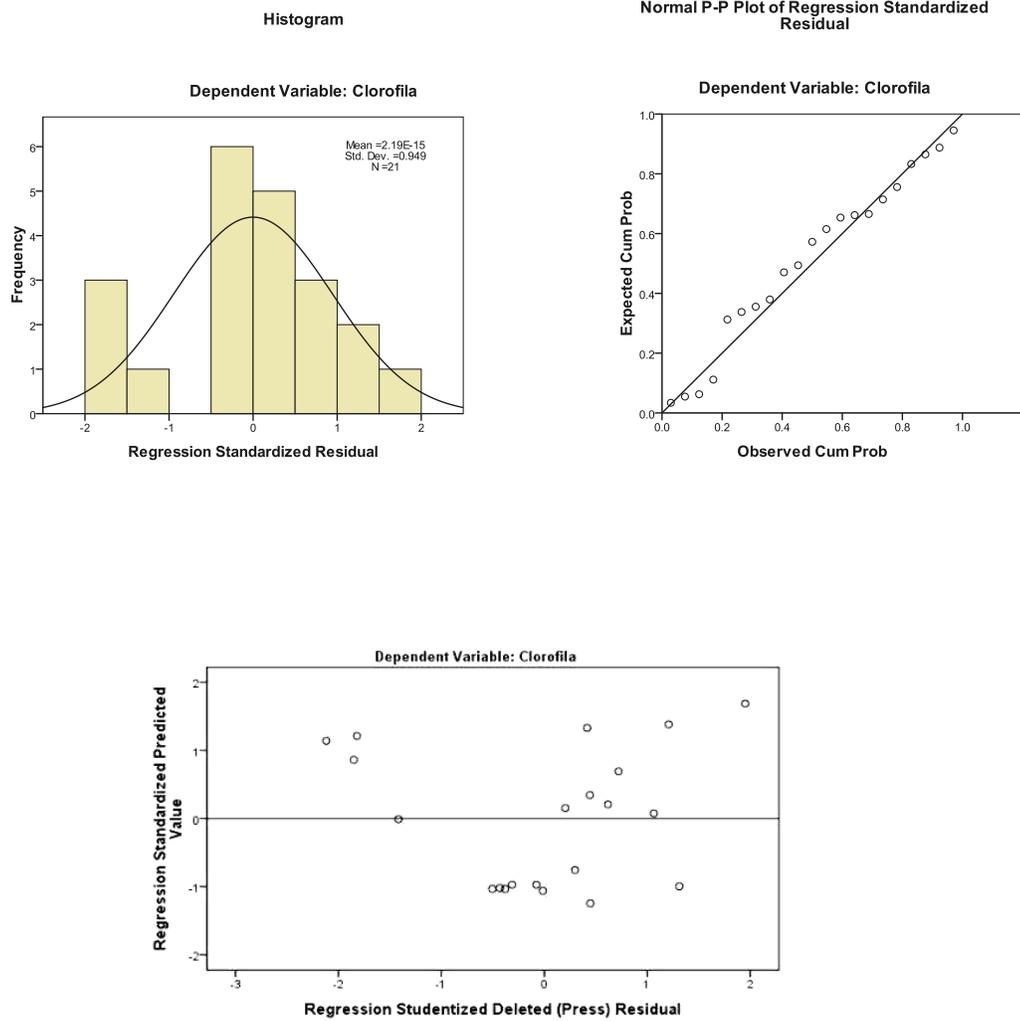


Figura 15. Gráficas de normalidad, probabilidades y de dispersión del Canal de la Laguna de La Virgen

Entonces la elaboración de un modelo de regresión para la Laguna de la Virgen queda de la siguiente manera:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_2 + \epsilon_i$$

$$\text{Clorofila } a = \beta_0 + \beta_1 \text{ sílice} + \beta_2 \text{ pH}$$

### Canal del Japón

En la zona Canal del Japón un primer modelo presentó una distribución normal asimétrica. Por lo cual los datos se transformaron utilizando logaritmo natural.

En la zona Canal del Japón, el resumen del modelo de regresión produce una  $R$  cuadrada media 0.593. Atendiendo al valor de la  $R$  cuadrada ajustada, el 41% de la varianza en la clorofila podría explicarse en función del amonio, fósforo, sílice, así como en función de la transparencia del agua, el pH y la conductividad. Este valor es aceptable. El valor de Durbin-Watson esta próximo a 2, que es un valor óptimo (Tabla 7).

Tabla 7. Evaluación del modelo de regresión para el Canal del Japón.

R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error de estimación	Durbin –Watson
.593	.419	.68506	2.206

- a. Variable Predictora: pH, Sílice
- b. Variable Dependiente: Clorofila

EL ANOVA del análisis de regresión mostro una significancia de 0.028 (Tabla 8), lo que soporta el análisis.

Tabla 8. Análisis de varianza para evaluación de la idoneidad de los coeficientes de regresión.

Suma de Cuadrados	grados de libertad	suma de cuadrados	f	significancia
16.53	20	2.066	3.403	.028

- a. Variable Predictora: Transparencia, pH, Conductividad, Amonio, Sílice, Fósforo
- b. Dependent Variable: Clorofila

Sin embargo, los resultados de los coeficientes mostraron valores de beta suficientemente alejados de 0 solo para el amonio, fósforo y conductividad y los valores de tolerancia son sólo aceptables para estas variables; simultáneamente, los valores de significancia correspondientes son pequeños, lo que indica un menor grado de colinearidad para un modelo que se base en las variables amonio, fósforo y conductividad, (Tabla 9) por lo cual se desarrolló un nuevo modelo, también para Canal del Japón.

Tabla 9. Evaluación de los coeficientes de regresión.

Modelo	Beta	tolerancia	significancia
Constante		-3.745	.002
Amonio	-.656	-1.756	.101
Fósforo	1.030	2.438	-.029
Sílice	-.058	-.233	.819
pH	.099	.399	.696
Conductividad	.745	3.103	.008
Transparencia	-.481	-1.334	.204

Este nuevo modelo, produjo una R cuadrada menor 0.522 pero una  $R^2$  ajustada mayor, (0.438) lo que significa que aumentó la proporción de la varianza de clorofila que puede ser explicada por el modelo. Asimismo, el valor de Durbin–Watson todavía es cercano a dos por lo que es bastante aceptable. (Tabla 10).

Tabla 10. Evaluación del modelo de regresión para el Canal del Japón.

R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error de estimación	Durbin –Watson
.522	.438	.67364	2.154

- a. Variable Predictora: Conductividad, Amonio, Fósforo.
- b. Variable Dependiente: Clorofila

Tabla 11. Análisis de varianza para evaluación de la idoneidad de los coeficientes de regresión. El ANOVA del análisis de regresión tiene una significancia de 0.05.

Suma de Cuadrados	grados de libertad	suma de cuadrados	f	significancia
16.153	20	3.267	6.199	.005

- a. Variable Predictora: Conductividad, Amonio, Fósforo.
- b. Variable Dependiente: Clorofila

Los resultados de los coeficientes de amonio, fósforo y conductividad, mostraron valores de beta suficientemente alejados de 0, los valores de significancia son altamente significativos y los valores de tolerancia son mayores, lo que nos indica un menor grado de colinearidad entre las variables predictivas para este modelo (Tabla 12).

Tabla 12. Evaluación de los coeficientes de regresión.

Modelo	Beta	tolerancia	significancia
Constante		-4.309	.000
Amonio	-.291	-1.667	.114
Fosforo	.630	2.570	.020
Conductividad	7.735	4.309	.001

Estos valores de frecuencias siguen una distribución normal y la gráfica de probabilidades se ajusta bastante a una recta y esto se comprueba en la grafica de comparación de igualdad de varianza para residuales, en la que los valores se distribuyen

como una nube y los valores positivos y negativos se dispersan equitativamente con respecto a 0 (Figura 16).

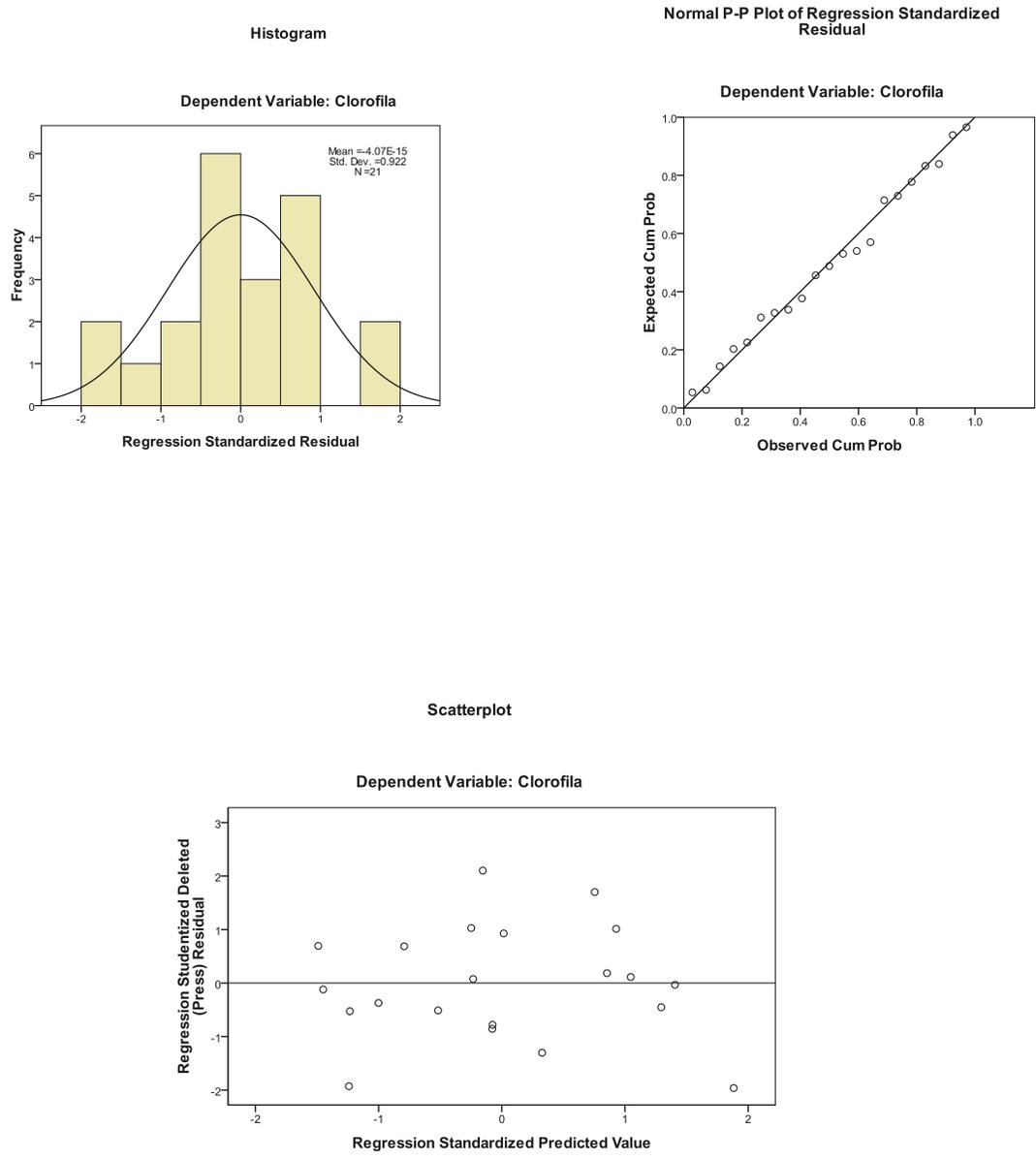


Figura 16. Gráficas de normalidad, probabilidades y de dispersión del Canal del Japón.

Entonces la elaboración de un modelo de regresión para el Canal del Japón quedaría como a continuación se muestra:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \epsilon_i$$

$$\text{Clorofila } a = \beta_0 + \beta_1 \text{ amonio} + \beta_2 \text{ fósforo} + \beta_3 \text{ conductividad}$$

### Canal del Bordo

En la zona conocida como Canal del Bordo la proporción de la clorofila que puede ser explicada por este modelo es media (R cuadrada 0.556) pero la R<sup>2</sup> ajustada es baja, lo que nos indica que aproximadamente un poco menos de la mitad de la varianza de la clorofila, el 36 %, podría ser explicado de acuerdo con las variables predictivas (amonio, fósforo, sílice, transparencia, pH, conductividad y transparencia de sechii). El error de estimación es pequeño, el valor de Durbin-Watson está próximo a 2 y es bastante aceptable (Tabla 13).

Tabla 13. Evaluación del modelo de regresión para el Canal del Bordo.

R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error de estimación	Durbin –Watson
.556	.366	.25920	2.311

- a. Variable Predictora: Transparencia, pH, Conductividad, Amonio, Sílice, Fósforo.  
 b. Variable Dependiente: Clorofila

El ANOVA del análisis de regresión mostró mucha diferencia entre el modelo reducido, es decir sólo con el término constante y el modelo con las 6 variables predictivas (p=0.046) el cual es aceptable ya que no pasa de 0.05 que es el límite (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis de varianza para evaluación de la idoneidad de los coeficientes de regresión.

Suma de Cuadrados	grados de libertad	suma de cuadrados	f	significancia
2.119	20	.263	2.923	.046

- a. Variable Predictora: Transparencia, pH, Conductividad, Amonio, Sílice, Fósforo.  
b. Variable Dependiente: Clorofila

Sin embargo, los resultados de los coeficientes mostraron valores de beta suficientemente alejados de 0 sólo para el pH, conductividad y transparencia, aunque son satisfactorios para estas variables más el fósforo, los valores de significancia sólo son satisfactorios si excluimos el fósforo del análisis (Tabla 15).

Tabla 15. Evaluación de los coeficientes de regresión.

Modelo	Beta	tolerancia	significancia
Constante		1.803	.093
Amonio	.001	.005	.996
Fósforo	-.364	-1.016	.327
Sílice	.121	.373	.715
pH	.835	3.791	.002
Conductividad	.450	-2.229	.043
Transparencia	-.548	-2.471	.027

Por ello, también para el caso de Canal del Bordo se ajustó un segundo modelo basado en las variables pH, conductividad y transparencia.

En este segundo modelo el valor de R cuadrada también es alto y la R cuadrada ajustada incrementó sustancialmente de valor (0.473). Entonces, casi la mitad de la

variabilidad de la clorofila en Canal del Bordo se explica satisfactoriamente con base en estas tres variables (Tabla 16)

Tabla 16. Evaluación del modelo de regresión para el Canal del Bordo.

R cuadrada	R cuadrada ajustada	Error de estimación	Durbin -Watson
.552	.473	.14764	1.821

- a. Variable Predictora: pH, Conductividad, Transparencia.
- b. Variable Dependiente: Clorofila

En este segundo modelo el análisis de ANOVA mostró una significancia mucho más alta, de 0.003 (Tabla 17) y aunque no todos los valores de betas son muy alejados de cero, los valores de tolerancia son muy cercanos a 1, lo cual es óptimo; asimismo, los valores de significancia de los coeficientes son estadísticamente válidos (Tabla 18). Todo esto indica que no hay colinealidad entre las variables del nuevo modelo.

Tabla 17. Análisis de varianza para evaluación de la idoneidad de los coeficientes de regresión.

Suma de Cuadrados	grados de libertad	suma de cuadrados	f	significancia
.828	20	.174	6.993	.003

- a. Variable Predictora: Transparencia, pH, Conductividad, Amonio, Sílice, Fósforo.
- b. Variable Dependiente: Clorofila

Tabla 18. Evaluación de los coeficientes de regresión.

Modelo	Beta	tolerancia	significancia
Constante		1.643	.119
pH	.845	4.366	.000
Conductividad	-.420	-2.431	.026
Transparencia	-.460	-2.498	.023

Finalmente, las gráficas de normalidad y de probabilidades muestran una distribución satisfactoria y bien ajustada a una recta, respectivamente, y esto se comprueba en la gráfica de comparación de igualdad de varianza para residuales, en la que los valores se distribuyen como una nube y los valores positivos y negativos se dispersan equitativamente con respecto a 0 (Figura 17).

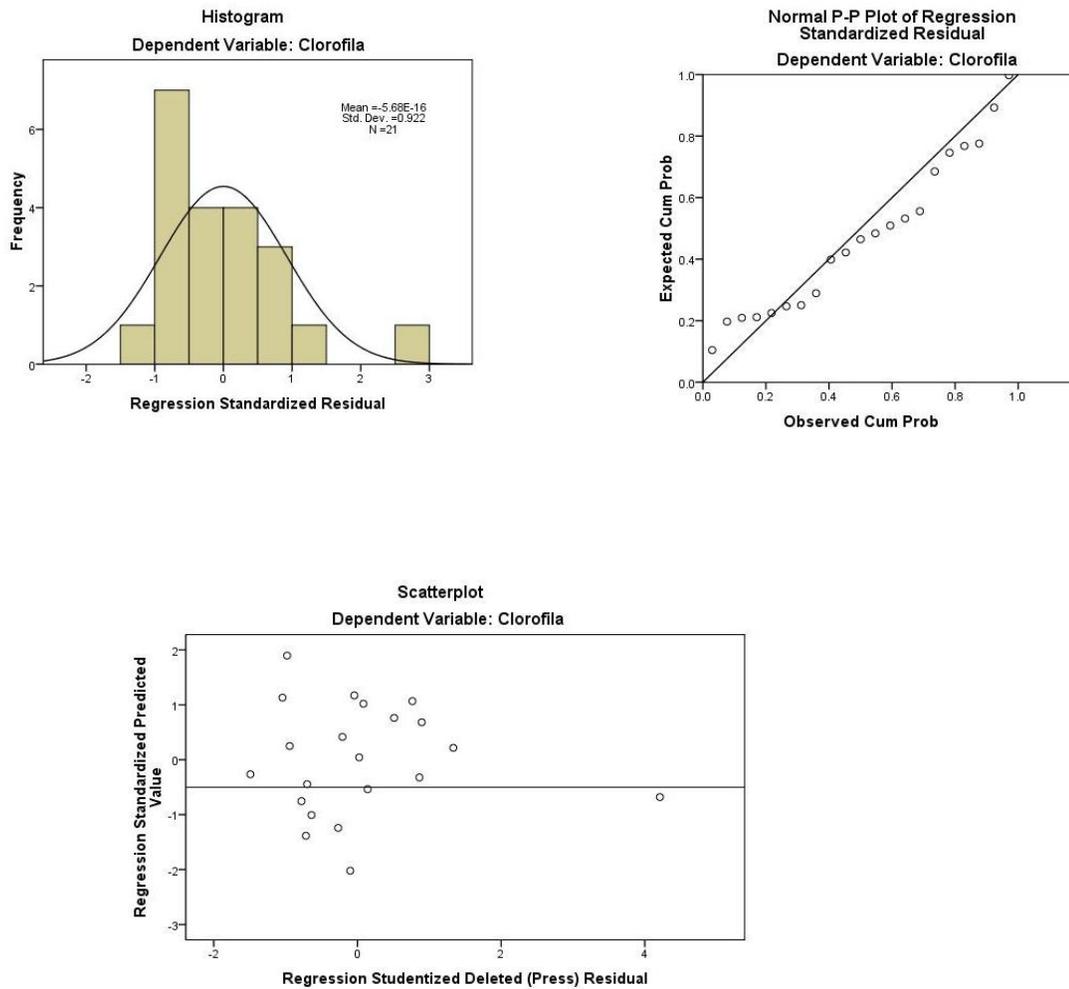


Figura 17. Gráficas de normalidad, probabilidades y de dispersión del Canal del Bordo.

Entonces la elaboración de un modelo de regresión para el Canal del Japón quedaría como a continuación se muestra:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon_i$$

$$\text{Clorofila } a = \beta_0 + \beta_1 \text{ pH} + \beta_2 \text{ conductividad} + \beta_3 \text{ transparencia}$$

## **DISCUSIÓN**

El estudio en Xochimilco se realizó en la temporada de lluvias, en el mes de agosto se presentaron lluvias esporádicas y aumentaron gradualmente. El periodo de mayor precipitación se observó en el mes de octubre, estos cambios en la precipitación pueden influir en la relación de la clorofila *a* con los parámetros fisicoquímicos que fueron analizados.

Los nutrientes que mediaron en la eutrofización fueron los nitratos y los fosfatos. Los nutrientes son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en concentraciones excesivas, inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de los sistemas acuáticos (Wetzel, 2001).

En el Canal del Japón, la mayor concentración de nitrógeno inorgánico total podría deberse a que en el lugar se encuentra localizada la denominada “cuenca lechera”, en la que se observa gran cantidad de establos que arrojan sus desechos directamente al canal; además, la zona en la que se hizo la recolección se encuentra cercana a una zona de viviendas, lo que origina que en los canales se arrojen sólidos de varios tipos, además de desechos humanos, originados por los asentamientos de la región. Won (1991) menciona que el aporte de descargas de agua de tipo doméstico es la principal causa de concentración elevada de nitrato.

En la estación Canal del Bordo se observa un comportamiento de este nutriente un tanto similar al Canal del Japón con ligeros incrementos y decrementos de nitrógeno inorgánico total, esto se debe principalmente a que la estación Canal del Bordo tiene una actividad turística alta y constante y es una de las zonas más cercanas a uno de los puntos de descarga de la planta de tratamiento ‘Cerro de la Estrella’. En cambio, en Laguna de la Virgen aunque no hay descargas cercanas de plantas tratadoras de agua, la concentración de nitrógeno inorgánico total es menor, esto se puede deber a que se encuentra relativamente alejada de las zonas urbanas por lo cual el aporte de nitrógeno es menor.

Las concentraciones de este nutriente mostraron un comportamiento parecido en las fechas de recolección, aumentando cuando llueve en la zona y disminuyendo cuando las precipitaciones son escasas. Esto se debe a la precipitación de los

nutrimentos y la materia orgánica dependiendo de las condiciones ambientales y de la variación de los factores relacionados con el agua (Vollenweider, 1968; Conley, 1999).

El fósforo es uno de los nutrimentos esenciales, cuya variación estacional está íntimamente ligada a procesos biológicos y geoquímicos. En sistemas acuáticos lenticos la introducción de fósforo produce constantes florecimientos fitoplanctónicos Räike et al. (2003) se refieren al fósforo como un factor relacionado con la clorofila *a* por ser un nutrimento importante en el desarrollo de las algas y demás plantas acuáticas. A lo largo de los muestreos las concentraciones de estos dos parámetros resultan altas, pero no necesariamente donde se presenta la máxima concentración de un parámetro ocurre lo mismo con el otro.

En las zonas de Laguna de la Virgen y Canal del Japón se observó una concentración mayor de fósforo en relación con el Canal del Bordo. Es importante observar que en la zona de Laguna de la Virgen estas concentraciones son resultado de la actividad agrícola relacionada con el uso de fertilizantes. Debido a que el fósforo es un nutrimento para las plantas, resulta un ingrediente primordial de los fertilizantes (Quian, 1999). En Canal del Japón, se combinan la actividad agrícola y la ganadera, que pueden influir en el incremento del fósforo.

En la zona de Canal del Japón, además de ser una zona de ganadería intensiva, presenta problemas de los asentamientos humanos los cuales vierten de manera indiscriminada las aguas domésticas residuales que contienen fuertes concentraciones de fósforo, principalmente por el uso de detergentes, además del uso de fertilizantes (Arheimer & Liden, 2000), de manera que en esta zona se puede determinar que hay múltiples causas del exceso de fósforo.

En la zona Canal del Bordo se observaron las concentraciones más bajas de fósforo. La causa principal de esta diferencia se relaciona con la cercanía del P.E.X (Parque Ecológico de Xochimilco), en el cual está restringido el uso de fertilizantes e insecticidas en sus instalaciones. Además, en el Canal del Bordo es más frecuente la limpieza que realiza la Delegación por ser zona turística.

El fósforo es un componente que incrementa el crecimiento de plantas acuáticas y su incremento provoca la eutrofización de lagos templados; concentraciones bajas a moderadas se encuentran en lagos de tipo mesotrófico y altas concentraciones en lagos

eutróficos e hipereutroficados (Parinet *et al.*, 2004). Estas características nos ayudan a indicar el grado trófico que tiene la zona de estudio, que al tener valores mayores a  $0.010 \text{ mg l}^{-1}$  de fósforo total, se le cataloga como un lago eutrófico (Lampert & Sommer, 1997). Estos autores también se refieren al fósforo como un factor relacionado con la clorofila *a* por ser un nutrimento importante en el desarrollo de las algas y demás plantas acuáticas. A lo largo de los muestreos las concentraciones de estos dos parámetros resultan altas, lo que se pudo observar en el aumento de clorofila *a*.

El sílice contribuye al desarrollo de diatomeas, y su mayor abundancia se encuentra en las zonas de mayor cantidad de sílice el cual es favorecido además por un alto contenido de nutrimentos (Bidwell, 1979).

En las estaciones Laguna de la Virgen y Canal del Japón se observa la mayor concentración de sílice, en Canal del Japón se observa un ligero incremento de sílice por lo cual se espera una mayor cantidad de organismos fotosintéticos como diatomeas.

La temperatura guarda una estrecha relación con la intensidad de la luz y es difícil evaluarla como un factor separado de ella ya que determina la productividad del sistema acuático (Arrington, 1984).

El comportamiento homogéneo presentado por la temperatura del agua es consecuente con la situación climática durante los meses de estudio. Las más elevadas se registraron en el mes de agosto y tienden a bajar en los meses de septiembre, octubre y noviembre, que fueron los meses en que se presentaron precipitaciones de mayor intensidad.

Esto concuerda con lo reportado por García (1973) e INEGI (2001) para la temperatura ambiental de Xochimilco.

El pH guarda una estrecha relación con el equilibrio de los carbonatos y con la alcalinidad del sistema acuático. En las tres estaciones se observa un comportamiento similar de este parámetro. En las gráficas se observa un incremento en los valores de pH durante los meses de septiembre a octubre, que corresponde a la temporada de lluvias. En esta época se presenta un lavado del suelo circundante al cuerpo de agua, este lavado provoca el arrastre de compuestos carbonatados, lo que incrementa los valores de pH hacia la basicidad (Ramos *et al.*, 2001).

En los datos se observa que el pH se encuentra entre 7 y 9 unidades, de acuerdo con Reid & Wood (1976) en este intervalo se muestra la mayor concentración de bicarbonatos y una disminución de CO<sub>2</sub>, además de un aumento en los valores de alcalinidad total.

La conductividad es una medida de la cantidad de sales presentes en el agua, incluyendo a los nutrientes. Por lo anterior, el crecimiento y la dinámica de las poblaciones de algas y la producción del cuerpo de agua, pueden tener relación con la conductividad (García & De la Lanza 1995).

La conductividad de las tres zonas de muestreo, indica condiciones de mineralización moderada (Margalef, 1983) ya que se encontró entre los valores alrededor de los 600  $\mu\text{S}$  y 1000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . La variación temporal de los valores de la conductividad mostró claramente los procesos de concentración y dilución que ocurrieron en el lago durante el periodo de estudio. En la época cálida (agosto- septiembre) los valores fueron elevados. Pero a partir de la última semana de septiembre, cuando la temperatura descendió y las lluvias se hicieron frecuentes, la conductividad mostró un claro descenso.

De acuerdo con el análisis de regresión una de las variables que en Xochimilco se relaciona con cambios en clorofila *a*, es la conductividad (Japón y Bordo). Esto ha sido observado en lagos tanto tropicales (Rocha et al., 2009) como europeos (Çelekli & Külköylüoğlu, 2006) y parece estar relacionado con la composición de especies del fitoplancton. Es posible que los cambios en composición pueden reflejarse en los cambios de concentración de la clorofila *a* y además, en función de nuestro monitoreo los cambios parecen ser rápidos. Estos cambios rápidos reflejan una alteración constante del sistema y sugieren que en sistemas someros urbanos, los cambios rápidos de conductividad, aun cuando no son de gran magnitud, podrían ser una causa de alteración para las algas.

Por muchos años la transparencia del agua ha sido estimada rutinariamente con el disco de Secchi como una forma rápida de obtener información óptica de la columna de agua. A pesar de la incertidumbre de los niveles de luz en donde no se alcanza a observar el disco de Secchi (Duntley, 1963; Tyler, 1968), estas mediciones siguen siendo utilizadas como un indicador visual, adecuado y robusto de la variación de la claridad del agua y en ocasiones de la actividad biológica en términos de la concentración de clorofila (Cervantes *et al.*, 2003). En las tres estaciones de estudio se observó que los datos se

comportan uniformemente y en un intervalo de 30 cm a 50 cm y también apoyaría la clasificación de Xochimilco como un lago eutrófico (Wetzel, 2001).

La concentración del oxígeno disuelto proporciona información importante acerca de las relaciones biológicas y bioquímicas que ocurren en el agua. Al ser un gas utilizado para la respiración de los organismos, además de ser un componente necesario para la realización de procesos de óxido-reducción de algunos iones como nitrato, amonio, compuestos ferrosos, sulfatos y sulfitos. Sin embargo también se ha observado que altas concentraciones son tóxicas para la biota acuática (Stoker & Seager; 1981). Las estaciones Laguna de la Virgen y Canal del Bordo presentan un comportamiento parecido durante el primero y segundo muestreo. Se presentan concentraciones altas de oxígeno y disminuye abruptamente en el tercer muestreo. Esto puede deberse a un efecto combinado del incremento de las tasas de descomposición, que resulta en contenidos extremadamente bajos de oxígeno y también al consumo de oxígeno por la vegetación sumergida.

Las concentraciones de la clorofila *a* tienden a disminuir durante los meses de muestreo, descienden en la época de lluvia en Laguna de la Virgen que presenta concentraciones de clorofila *a* poco variables, pero los canales del Bordo y del Japón no muestran un patrón definido ni estable.

Estas acciones se suman a la actividad principal en esta región que es la agricultura, pues los habitantes del lugar aplican fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en nutrientes en las chinampas que rodean los canales y fácilmente fluyen hacia el lago provocando su enriquecimiento. Esto también ha sido anotado por Cloern (2001).

Häse *et al.*, (1988) mencionan que el aumento o disminución de la temperatura es un factor importante que interfiere en el resultado de las concentraciones de clorofila *a*, en este caso la temperatura no es fundamental ya que durante todo el muestreo este parámetro es homogéneo, cabe señalar que la temperatura es en general templada resultando adecuada para el crecimiento planctónico.

El análisis de regresión demuestra que en las tres zonas de muestreo la clorofila *a*, no está influenciada por un nutriente limitante u otro factor en particular,

aunque el pH (Laguna de la Virgen y Canal del Japón) y la conductividad (Canal del Japón y Canal del Bordo), afectan la biomasa fitoplanctónica de manera importante en las zonas de estudio. En las gráficas se puede observar que la biomasa fitoplanctónica expresada como clorofila *a* es bastante variable, lo que nos indica una alteración constante del sistema.

## CONCLUSIONES:

Son muchos los problemas que afectan a la zona acuícola de Xochimilco y muy diversos los parámetros que hay que tomar en cuenta para determinar la calidad del agua.

Podemos concluir que se están descargando cantidades considerables de nutrimentos (fósforo y compuestos nitrogenados) al sistema de canales, lo que produce que las concentraciones de fósforo total y nitrógeno total sean altas y debido a esta carga de nutrimentos se puede establecer que la eutrofización del lago ya es una condición prevaleciente.

La intensa fluctuación de algunos de los parámetros evaluados en el lago durante el periodo de lluvias, sugiere que este es un período de gran variabilidad, por lo que en trabajos posteriores se deberá tener atención a la necesidad de estudiar varios periodos relacionados con precipitación y temperatura, o al menos temporadas secas y lluvias.

De acuerdo al fósforo y la transparencia, los canales se pueden catalogar de características eutróficas.

El uso de análisis de ANOVA en el cual se analizaron todos los parámetros registrados nos permitió una aproximación a la complejidad del ecosistema y en ellos se incluyeron diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos, que contribuyen a la relativa heterogeneidad del sistema lacustre de Xochimilco

El modelo de regresión múltiple evidenció que la biomasa fitoplanctónica en cada zona de estudio tiende a variar conforme diferentes conjuntos de factores ambientales.

En la zona de Laguna de la Virgen la biomasa fitoplanctónica depende linealmente del sílice y el pH expresada por la ecuación  $Clorofila\ a = \beta_0 + \beta_1\ sílice + \beta_2\ pH$

En la zona Canal del Bordo la biomasa fitoplanctónica depende linealmente de la conductividad, el pH y la transparencia esto se expresó por la ecuación  $Clorofila\ a = conductividad + \beta_2\ pH + \beta_3\ transparencia$ .

La zona Canal del Japón mostró un caso particular pues en un primer análisis los valores obtenidos no fueron estadísticamente satisfactorios. Por esta razón utilizamos valores transformados (logaritmo natural), obteniéndose el siguiente modelo:  $Clorofila\ a$

=  $\beta_0 + \beta_1 \text{ amonio} + \beta_2 \text{ fósforo} + \beta_3 \text{ conductividad}$ , sin embargo sería recomendable ampliar el estudio del Canal del Japón para corroborar el comportamiento del fitoplancton en función de los parámetros fisicoquímicos.

La propuesta de estos tres modelos es una aportación original de este trabajo, que no ha sido abordada en ninguno de los estudios que se han realizado hasta ahora en Xochimilco.

## REFERENCIAS

- Arheimer, B & R. Liden. 2000. Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments-influence of spatial and temporal variables. *Journal Hydrology*. 227: 140-159.
- Arrington, J. 1984. Ecología y piscicultura de aguas dulces. Mundi-Prensa .Madrid.
- Ávila, R.B.E. 2000. Composición actual de la ictiofauna del lago de Xochimilco. Tesis de licenciatura. Biología. ENEP-Iztacala. UNAM. México. 73p.
- Bidwell, R. 1979. Fisiología vegetal. AGT editor. México.
- Canabal, C.B. 1997. Xochimilco, una identidad recreada. México, UAM.
- Carpenter, S. & Lathrop, R. C .1999. Lake restoration: capabilities and needs. *Hydrobiology*. 395/396:19-28
- Çelekli, A. & O. Külköylüoğlu. 2006. On the relationship between ecology and phytoplankton composition in a karstic spring (Çepni, Bolu). *Ecological Indicators* 7 (2): 497-503.
- Cervantes, D. R. Reyes, S. A, Verdugo, D.G, Valdez & J.E. Holgin, 2003 Efecto de la concentración de seston superficial sobre la transparencia del agua de mar en una región costera del golfo de California México. *Oceánides* ,18(1): 1-11.
- Cloern, J .E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210: 223-253
- Conley, D.J 1999. Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies. *Hidrobiología*. 410: 87.
- DDF. 1997. Xochimilco. Programa Delegacional de desarrollo Urbano. Registro de los planes y Programas de desarrollo Urbano. Delegación Xochimilco. México.193 p.
- De la Lanza, E. G. 1990. Algunos conceptos sobre hidrología y calidad del agua. Pp. 181-198. En: La acuicultura en México. De los conceptos a la producción (Lanza de la, E. G. y Arredondo, F. J. L., compiladores). UNAM. D.F, 315 p.
- Díaz, R. G. & A. Domínguez. 2003. Calidad del agua en el proceso de eutrofización en el lago de Xochimilco considerando parámetros físicos y químicos. Servicio social. Biología. F.E.S. Zaragoza. UNAM. México.
- Duntley, S.Q. 1963. Light in the sea. *J. Opt. Soc. Am.*, 53: 214- 233.
- García Calderón, J, L & De La Lanza 1995. Lagos y presas de México. Centro de ecología y desarrollo, México.D.F.
- García M. E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2ª Ed. México D: F.

Gleick, P.H.1993.An introduction to global fresh water issues .Oxford University Press. New York.

Hach. 1977. *DR/2010 Spectrophometer. Procedures manual*. Loveland.

Harper,D.1992. Eutrophication of freshwaters. Principles, problems and restoration. Chapman and Hall.

Häse, C., Gaedke, U. Siegfried, A. Beese, B. and Tilzer, M. M. 1998. Phytoplankton response to re-oligotrophication in large and deep Lake Constance: Photosynthetic rates and chlorophyll concentrations. *Arch. Hydrobiol. Spec.Issues in Advanced. Limnology*. **53**: 1-100  
Holmes, R.W. 1970. The Secchi disk in turbid coastal waters. *Limnology and Oceanography*., **15**: 688- 694.

INEGI. 2001. Xochimilco Distrito Federal. Cuaderno Estadístico Delegacional. México.

Keve, N. R., King, D. L. and Ring, R. 1996. Lake classification systems-Part 1 the Michigan Riparian (disponible en línea: <http://www.miswa.org/ikclassif1.htm>) (Revisado en octubre de 2009).

Lampert, W. & U. Sommer.1997. Limnoecology. The ecology of lakes and streams. Oxford University Press. New York. U.S.A.

Lorenzen, C.J.1966. A method for the continuous measurement of vivo chlorophyll and pheophytines. *Archiv für Hydrobiologie*, **109**: 567

Lot, A & A. Novelo, 2004. Iconografía y estudio de plantas acuáticas de la ciudad de México y sus alrededores, Instituto de Biología, UNAM.

Lot, A., A. Novelo y A. Quiroz, 1979 "the Chinampa: An Agricultural System That Utilizes Aquatic Plants". *J. Aquat Plants, Manage*, **17**: 74-75.

Margalef, R. 1983.Limnología. Omega. Barcelona.

Mason, C.F. 2000. Water pollution biology. In pollution: Causes. Effects and control 3 th. Ed. Roy M Harrison. The Royal Society of chemistry.

Parinet, B., A. Lhote & B. Legube. 2004. Principal component analysis and appropriate tool for water quality evaluation and management-application to tropical lake system. *Ecol. Model*. **178**: 295-311

Quian, S.S. 1999. ESR Applied environmental studies: Preparation for problem solving. Environmental Sciences and Resources. Portland, Oregon.

Räike,O.A.,P. Pietiläinen,S.Rekolainen,P. Kauppila,H. Pitkänen,J. Niemi,A. Raateland, and J. Vuorenmaa. 2003. Trends of phosphorus,nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975-200. *The Science of Total Environment*. **310**: 47-59.

Rast, W & Holland.1988 Eutrophication. *Ambio* **17**(1): 1-17

Ramos-Bello,R., D., Cajuste, R. Flores & N.E. García-Calderón. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia*. **35**: 385-395.

Reid, K. G. & D. R., Wood. 1976. *Ecology of Inland Water and Estuaries*. 2ª ed. Ed: D. Van Nostrad. Nueva York.

Rocha, R. R. A., S. M. Thomaz, P. Carvalho & L. C. Gomes. 2009. Modeling chlorophyll-a and dissolved oxygen concentration in tropical floodplain lakes (Paraná River, Brazil). *Braz. J. Biol.*, **69** (2): 491-500.

Salas, S. I. 1988. Estudio de la Vegetación del Parque Ecologico de Xochimilco. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Shaffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke & B. Walker, 2001. Catastrophic shift in ecosystems. *Nature* **413** (11)pp. 591-596.

Stoker, H.S. & Seager, S. L. 1981. *Química ambiental. Contaminación del aire y del agua*. Ed. Blume. Barcelona.

Tett,P.,Gilpin,L. Svendsen, H.,Erlandsson,C.P., Larsson,U., Kratzer,S.,F Quilland, E.,Janzen,C., Lee,J., Grenz, C., Newton,A., Gomes Ferreira,J., Fernandes, T. and Scory,S. 2003. *Eutrophication and some European waters of restricted exchange. Continental shelf Research*, **23**: 1635-1671.

Tyler, J.E. 1968. The Secchi disk. *Limnology. Oceanography*,. **13**: 1-6.

Vollenweider, RA.1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, whit particular reference to nitrogen and phosphorus as factor in eutrophication. Technical report DAS/68.27 Environmental Directorate, Organisation for Economic Cooperation en development (OECD), Paris.

Vollenweider, R.A.1992. Coastal marine eutrophication: principles and control. In *Marine Coastal Eutrophication*. Vollenweider, R.A., Machete, R. and Viviani, R. (eds) Elsevier. The Netherlands.

Won, W.Y. 1991. Research on the difference of organic nitrogen in water system of south China. *Tropic Oceanology*. **10** (4): 44-48

Wetzel.R.G. 2001.*Limnology. Lake and river ecosystems*. 3th ed. Academic Press. California.

## ANEXOS

### ANEXO 1

VIRGEN	[NO <sub>3</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[NH <sub>4</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[NO <sub>2</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]mg L <sup>-1</sup>	[SiO <sub>2</sub> ] mg L <sup>-1</sup>	Conc. clorofila-a	° C	pH
Xo 35	0.9	0.03	0.002	1.71	34	0.42	20	8
Xo 36	0.9	0	0.001	0.65	30.9	0.19	20.4	8
Xo 37	0.8	0.01	0.00	0.69	32.2	0.642	19.6	7.8
Xo 44	1.1	0.05	0.17	3.02	32.2	0.24	19.6	7.8
Xo 45	0.9	0.07	0.009	3.36	35.4	0.05	20.3	7.37
Xo 46	1	0.08	0.008	3.69	35.4	0.17	19.8	7.3
Xo 53	1	0.29	0.007	6.52	34.2	0.11	18.9	7.6
Xo 54	0.9	0.3	0.005	8.5	33.3	0.06	19	7.6
Xo 55	0.9	0.11	0.007	8.74	33.3	0.02	19	7.6
Xo 62	1.2	0.01	0.013	6.8	36	0.97	17	9.69
Xo 63	1.2	0.04	0.01	6.7	34.1	0.96	17.5	9.68
Xo 64	0.8	0.03	0.009	6.7	39.9	1.23	17.5	9.83
Xo 71	1.3	0.021	0.003	6.6	37.6	0.49	18.1	10.4
Xo 72	2.1	0.03	0.003	6.08	45.7	1.3	18.6	10.25
Xo 73	1.4	0.02	0.004	11.48	46	1.61	18.3	10.3
Xo 80	3.4	0.06	0.011	18.76	46.6	0.650	15.3	9.93
Xo 81	4.3	0.09	0.004	16.6	45	0.540	15.7	10
Xo 82	3.5	0.07	0.007	15.72	50.7	2.000	15.9	10.27
Xo 89	0.9	0.08	0.004	8.32	45.1	1.040	15.9	8.12
Xo 90	1.6	0.06	0.006	7.74	45.7	0.220	15.3	7.9
Xo 91	2	0.07	0.003	7.92	46.9	0.800	15.5	8.04

VIRGEN	Conduct. mS cm <sup>-1</sup>	Prof. Secchii	OD mg l <sup>-1</sup>	irradianza sup	irradianza Prof.	GPS N
Xo 35	1.08	0.35	4.4	85442.8	5338.9	19°16.623'
Xo 36	1.1	0.32	4.3	79911.6	8611.2	19°16.612'
Xo 37	1.11	0.38	4.3	110223	11022.3	19°16.665'
Xo 44	1.14	0.45	4.4	606226	13777.9	19°16.622'
Xo 46	1.13	0.49	4.3	110223	20666.8	19°16.653'
Xo 53	1.6	0.5	1	26178	5166.7	19°16.628'
Xo 54	1.07	0.49	1.1	35822.5	6544.5	19°16.647'
Xo 55	1.05	0.48	1	42711.4	8226.7	19°16.607'
Xo 62	0.83	0.42	5	14466.8	11022.3	19°16.623'
Xo 63	0.84	0.43	5	30311.3	6200	19°16.647'
Xo 64	0.83	0.48	5	22044.6	1463.9	19°16.604'
Xo 71	0.96	0.4	5.1	132267.5	3444.5	19°16.619'
Xo 72	0.96	0.43	5.3	69426.94	1808.3	19°16.652'
Xo 73	0.95	0.43	5.4	154,312	8611.2	19°16.599'
Xo 80	0.92	0.43	4.7	24800.2	5511.1	19°16.620'
Xo 81	0.93	0.5	4.7	24800.2	3272.2	19°16.653'
Xo 82	0.93	0.4	4.6	63378.2	4133.4	19°16.601'
Xo 89	0.72	0.38	5.4	74400.5	3961.1	19°16.621'
Xo 90	0.71	0.32	5.3	82667.2	3616.7	19°16.653'
Xo 91	0.73	0.39	5	82667.2	2927.8	19°16.609'

JAPÓN	[NO <sub>3</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[NH <sub>4</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[NO <sub>2</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]mg L <sup>-1</sup>	[SiO <sub>2</sub> ] mg L <sup>-1</sup>	Conc. clorofila-a	° C	pH
Xo 38	0.8	0.09	0.073	0.59	93	0.55	21.5	8.28
Xo 39	1	0.07	0.005	0.69	30.9	0.19	21.7	8.29
Xo 40	1	0.06	0.071	1.47	32.6	0.7	21.9	8
Xo 47	2.2	0.33	0.149	2.19	31.4	0.16	20.6	7.56
Xo 48	1.7	0.23	0.156	2.63	33.1	0.17	20.8	7.92
Xo 49	2.2	0.25	0.14	2.78	30	0.54	21	7.97
Xo 56	1.2	1.08	0.11	7.82	36.8	0.18	18	7.3
Xo 57	1.2	1.24	0.107	7.68	35	1.01	18	7.3
Xo 58	1.5	0.96	0.122	5.52	35	0.3	18.2	7.3
Xo 65	1.2	0.86	0.081	5.28	35.5	0.12	18.5	9.51
Xo 66	1	1.06	0.085	6.2	39.8	0.05	18.7	9.41
Xo 67	0.9	1.24	0.085	5.96	37.5	0.18	18.7	9.46
Xo 74	3	0.54	0.004	7.16	52.2	1.1	19	10.02
Xo 75	2.2	0.58	0.006	8.14	43.8	1.46	18.6	9.79
Xo 76	1.2	0.47	0.006	7.36	46	0.77	20	10.11
Xo 83	3.6	1.32	0.122	15.6	45	0.650	15.1	9.3
Xo 84	2.6	1.44	0.118	17.76	43.8	0.400	16.1	9.5
Xo 85	2.7	1.32	0.112	14.92	54	0.580	16	9.48
Xo 92	1.4	0.06	0.034	7.66	48.7	0.140	16.5	7.42
Xo 93	1.9	0.06	0.048	6.48	49.1	0.100	17	7.3
Xo 94	1.1	0.06	0.054	8.82	56.3	0.280	17.2	7.54

JAPÓN	Conduct. mS cm <sup>-1</sup>	Prof. Secchi	OD mg l <sup>-1</sup>	irradianza sup	irradianza Prof.	GPS N	GPS W
Xo 38	1.05	0.23	4.4	159823	11022.3	19°16.882'	99°04.260'
Xo 39	1.05	0.5	4.3	132267.5	11711.2	19°16.827'	99°04.285'
Xo 40	1.05	0.38	4.4	143289.8	8611.2	19°16.762'	99°04.328'
Xo 47	0.95	0.37	4.4	44089.2	7233.4	19°16.762'	99°04.381'
Xo 48	0.96	0.42	4.3	132267.5	24800.2	19°16.770'	99°04.399'
Xo 49	0.94	0.46	4.4	126756.4	21355.7	19°16.780'	99°04.445'
Xo 56	0.92	0.45	5	35822	4305	19°16.875'	99°04.643'
Xo 57	0.93	0.39	5.2	38758	3444.5	19°16.893'	99°04.712'
Xo 58	0.94	0.4	5.4	33066.9	5166.7	19°16.913'	99°04.764'
Xo 65	0.85	0.42	5.1	17222.3	4133.4	19°16.897'	99° 4.255'
Xo 66	0.86	0.48	5.1	26178	5166.7	19°16.819'	99° 4.292'
Xo 67	0.85	0.53	5.1	17911.2	3272.2	19°16.737'	99° 4.329'
Xo 74	0.98	0.45	5.2	170845.6	15155.7	19°16.904'	99°04.244'
Xo 75	0.97	0.49	5	154312.1	22044.6	19°16.872'	99°04.262'
Xo 76	1.01	0.44	5	187379	28933.5	19°16.803'	99°04.300'
Xo 83	0.96	0.51	4.7	28933.5	4305.6	19°16.804'	99°04.301'
Xo 84	1.04	0.52	3.9	49600.3	6200	19°16.746'	99°04.356'
Xo 85	1	0.54	4.4	26178.06	2927.8	19°16.764'	99°04.402'
Xo 92	0.77	0.57	5.1	854222.8	7233.4	19°16.908'	99°04.247'
Xo 93	0.77	0.63	5	99200.7	14466.8	19°16.841'	99°04.280'
Xo 94	0.78	0.6	5.1	126756.4	11711.2	19°16.754'	99°04.326'

<b>BORDO</b>	[NO <sub>3</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[NH <sub>4</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[NO <sub>2</sub> -N] mg L <sup>-1</sup>	[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]mg L <sup>-1</sup>	[SiO <sub>2</sub> ] mg L <sup>-1</sup>	Conc. clorofila-a	° C	pH
Xo 41	0.9	0.14	0.01	0.01	21	0.55	21.9	8.67
Xo 42	0.5	0.01	0.003	0.06	19.8	1.05	22.7	8.9
Xo 43	1	0.06	0.008	0.09	20.5	1.27	22.2	8.8
Xo 50	0.7	0.07	0.027	0.23	21.4	0.33	21.4	8.87
Xo 51	1.3	0.16	0.032	0.64	22.6	0.34	23.3	8.85
Xo 52	0.8	0.45	0.036	4.46	23.1	0.24	20.6	8.6
Xo 59	0.9	1.64	0.036	4.36	26.1	0.23	18.4	8.37
Xo 60	0.3	0.09	0.011	1.65	20.9	0.34	18.3	8.89
Xo 61	0.6	0.33	0.016	2.95	21	0.41	17.4	8.74
Xo 68	2.1	0.56	0.036	3.32	25	0.94	16.9	10.54
Xo 69	0.8	0.64	0.036	3.59	22.8	0.96	16.5	10.68
Xo 70	1.4	0.28	0.032	3.82	27.5	0.95	16.7	10.8
Xo 77	1.2	0.21	0.002	3.29	35.8	0.72	17.6	10.92
Xo 78	0.9	0.19	0.003	2.46	24.7	0.37	18	11.05
Xo 79	0.2	0.6	0.005	3.16	29.5	0.94	17.8	10.87
Xo 86	0.9	2.08	0.126	4.68	37	0.520	15	10.58
Xo 87	3	1.16	0.113	4.34	38.3	0.730	14.4	10.82
Xo 88	4.1	1.32	0.124	5.15	40.4	1.140	14.5	10.64
Xo 95	0.4	0.8	0.014	6.98	47.3	0.330	14.8	7.77
Xo 96	0.7	1.02	0.047	6.6	35.2	1.040	14.8	8.15
Xo 97	1.1	1.04	0.042	6.7	38.5	0.660	15.4	8.38

<b>BORDO</b>	Conduct. mS cm <sup>-1</sup>	Prof. Sechii	OD mg l <sup>-1</sup>	irradianza sup	irradianza Prof.	GPS N	GPS W
Xo 41	0.76	0.3	4.5	55111.5	6200	19°17.168'	99°05.896'
Xo 42	0.74	0.28	4.4	104711.8	9300.1	19°17.176'	99°06.117'
Xo 43	0.74	0.33	4.1	253512.8	22044.6	19°17.181'	99°06.014'
Xo 50	0.71	0.38	4.5	176356.7	66133.8	19°17.141'	99°05.775'
Xo 51	0.79	0.34	4.4	176356.7	23289.8	19°17.182'	99°06.030'
Xo 52	0.8	0.33	4.1	170845.6	65339.4	19°17.183'	99°06.122'
Xo 59	0.82	0.34	1	49600.3	4477.8	19°17.145'	99°05.766'
Xo 60	0.76	0.33	0.9	60622.6	8611.2	19°17.176'	99°06.037'
Xo 61	0.76	0.3	5.5	39955.8	3272.2	19°17.176'	99°06.120'
Xo 68	0.7	0.3	5.1	34444.7	6200	19°17.148'	99° 5.775'
Xo 69	0.81	0.29	5	57867	13089	19°17.167'	99° 5.891'
Xo 70	0.79	0.32	4.7	37200.2	6544.5	19°17.183'	99° 8.126'
Xo 77	0.88	0.37	5.3	144668	65333.4	19°17.151'	99°06.791'
Xo 78	0.83	0.35	4.6	198401.3	28933.5	19°17.175'	99°06.038'
Xo 79	0.82	0.32	5.7	209423.6	22044.6	19°17.169'	99°06.143'
Xo 86	0.89	0.3	4.7	16533.4	3100	19°17.151'	99°05.808'
Xo 87	0.67	0.39	4.9	115734.1	27178	19°17.176'	99°06.037'
Xo 88	0.69	0.37	4.8	165334.4	30311.3	19°17.179'	99°06.125'
Xo 95	0.71	0.25	5.5	115734.1	4650	19°17.150'	99°05.800'
Xo 96	0.69	0.23	5.5	148801	34444.7	19°17.174'	99°06.049'
Xo 97	0.7	0.28	5.3	132267.5	34444.7	19°17.179'	99°06.120'

## ANEXO 2.

### DETERMINACIONES HACH

#### DETERMINACIÓN DE CLOROFILA *a* CON CORRECCIÓN PARA FEOPIGMENTOS

(Con espectrofotometría)

Procedimiento:

Recolectar un litro de agua (frasco pet o pyrex de boca ancha) como muestra directa en el cuerpo de agua. Se recomienda iniciar el procedimiento inmediatamente después de la recolección o bien filtrar 250 ml de ese litro, *in situ*. Si toma algún tiempo el transporte (más de 30 minutos), guardar en oscuridad y en frío, ya sea la muestra o el filtro.

Obtener una submuestra de 250 ml a partir de ese litro (si no se filtró en campo).

Filtrar en filtro de fibra de vidrio.

Secar el exceso de agua de los filtros y macerar en 1.5 – 2 ml de acetona al 90 %.

Agregar acetona hasta obtener 10 ml. Colocar en un tubo de centrifuga cubierto con papel aluminio para impedir paso de luz.

Refrigerar durante toda la noche o más, pero menos de 24 horas. El tiempo mínimo requerido es de 2 horas.

Sacar los tubos de refrigeración y dejar 20 o 30 min. a temperatura ambiente. A partir de este punto se recomienda trabajar en un lugar poco iluminado.

Centrifugar 10 min a 500 RPM.

Decantar vaciando el contenido del tubo en la celda de lectura.

Calibrar el espectrofotómetro<sup>1</sup> para leer a 665 nm y 750 nm.

---

---

Una vez completadas las lecturas, acidificar las muestras (puede ser directamente en la cubeta en que se encuentran) con 100 µl de HCl 0.12 N. Esperar un minuto<sup>2</sup> y repetir las lecturas a 665 y 750 nm.

---

---

Relación ácida es igual al cociente de:

$$\frac{(\text{Abs } 665 - \text{Abs } 750)}{(\text{Abs } 665 \text{ ácida} - \text{Abs } 750 \text{ ácida})}$$

Calcular la concentración de Clorofila a en µg l<sup>-1</sup>:

$$\text{Clo } a = 29.6[(A_{665} - A_{750}) - (Aa_{665} - Aa_{750})](v/V)L$$

Donde:

**v** es el volumen del extracto (10 ml),

**V** el de la muestra filtrada (l), **A<sub>665</sub>** y **A<sub>750</sub>** las absorbancias sin acidificar, **Aa<sub>665</sub>** y **Aa<sub>750</sub>** las absorbancias luego de la acidificación,

**L** el diámetro de la celda (cm). El factor 29.6 incluye el coeficiente de absorción específico de la clorofila a pura (en l/µg cm).

---

## NITRATO

(Concentración alta) MÉTODO 8039       $\text{NO}_3^- - \text{N}$

Ingresar el programa 355. Presione *enter*.

Ajustar aparato para leer a 500 nm

Llenar una celda de 25 ml con agua de la muestra.

Añadir el contenido de un sobre de *Nitra Ver 5*. Tapar.

Seleccionar teclas *Shift + Timer* y agitar la muestra vigorosamente durante el conteo automático (1 min).

Al sonar el timbre, presionar nuevamente *Shift + Timer*. Se iniciará un conteo automático de 5 minutos.

Llenar otra celda de 25 ml con agua de la muestra que se utilizará como blanco para calibrar la lectura.

Al sonar el timbre, colocar el blanco en el aparato, cerrar la tapa y presionar cero.

Cuando se despliegue una concentración de cero en la pantalla, leer la muestra que se preparó. Con las flechas (teclas) hacia abajo y hacia arriba, leer las formas  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  y  $\text{NO}_3^-$  —> Anotar ambos resultados de lectura.

LAVAR LAS CELDAS ENJUAGANDO  $\pm 8$  VECES CON AGUA DEL GRIFO Y 2 VECES MÁS CON AGUA DESTILADA. ESCURRIR INVERTIDAS SOBRE UN PAPEL, SECANDO POR FUERA CON UN PAÑO LIMPIO Y PAPEL PARA LENTES.

## NITRITO

(Concentración baja) MÉTODO 8507,

Ingresar el programa 371. Presione *enter*.

Ajustar aparato para leer a 507 nm

Inserte el elevador de celdas en el compartimiento de lectura.

Llenar una celda de 10 ml con agua de la muestra.

Añadir el contenido de un sobre de *Nitri Ver 3*. Tapar y agitar hasta disolver el polvo.

Seleccionar teclas *Shift + Timer*. Se iniciará un conteo automático de 20 minutos.

Al sonar el timbre, llenar otra celda de 10 ml con agua de la muestra, que se utilizará como blanco para calibrar la lectura.

Colocar el blanco en el aparato, cerrar la tapa y presionar cero.

Cuando se despliegue una concentración de cero en la pantalla, quitar el tapón de la muestra que se preparó y leer. Con las flechas (teclas) hacia abajo y hacia arriba, leer las formas:  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{NO}_2^-$  - N y  $\text{NO}_2^-$  —► Anotar ambos resultados de lectura.

## **AMONIO**

(Concentración baja) MÉTODO 8155  $\text{NH}_3$  - N (amoniac)

Ingresar el programa 385. Presione *enter*.

Ajustar aparato para leer a 655 nm

Inserte el elevador de celdas en el compartimiento de lectura.

Llenar una celda de 10 ml con agua de la muestra.

Llenar otra celda de 10 ml con agua destilada (el blanco).

Añadir el contenido de un sobre de *Reactivo de Salicilato* a cada celda, tapar y agitar para disolver.

Seleccionar teclas *Shift + Timer*. Se iniciará un conteo automático de min.

Al sonar el timbre, añadir a cada celda el contenido de un sobre de *Cianurato de Amonio*. Tapar. Agitar la muestra para disolver. Si hay nitrógeno amoniacal presente, se desarrollará un color verde.

Presionar nuevamente *Shift + Timer*. Se iniciará un conteo automático de 15 minutos.

Al sonar el timbre, colocar la muestra con agua destilada + los reactivos (el blanco) en el aparato, cerrar la tapa y presionar cero.

Cuando se despliegue una concentración de cero en la pantalla, leer la muestra que se preparó. Con las flechas (teclas) hacia abajo y hacia arriba, leer las formas:

$\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$  - N y  $\text{NH}_3$  —>Anotar los tres resultados de lectura.

LAVAR LAS CELDAS ENJUAGANDO  $\pm$  8 VECES CON AGUA DEL GRIFO Y 2 VECES MÁS CON AGUA DESTILADA. ESCURRIR INVERTIDAS SOBRE UN PAPEL, SECANDO POR FUERA CON UN PAÑO LIMPIO Y PAPEL PARA LENTES.

## FÓSFORO TOTAL

(0 - 3.5 mg l<sup>-1</sup>) MÉTODO 8190, DIGESTIÓN ACIDA

Encienda el digestor colocando el termómetro. Tenga las muestras listas cuando alcance una temperatura de 100°C.

Llene los viales de lectura (tubos de ensayo especiales con tapón de rosca), con 5 ml de muestra.

Llene un solo vial con agua destilada y procéselo como cualquiera de las muestras. La lectura de este "blanco" se restará de las lecturas finales de los viales que contienen las muestras.

Añada 2 ml de *ácido sulfúrico 1N* a cada vial. Agite y añada un sobre de *Persulfato de potasio*. Tape bien y agite hasta disolver.

Coloque todos los viales en el digestor cuando éste alcance 103-106°C. Déjelos a esta temperatura durante 30 minutos —► la óptima es 105°C.

Al cumplirse los 30 min. Retire los viales cuidadosamente y colóquelos en una gradilla. Déjelos enfriar a temperatura ambiente.

Cuando hayan enfriado trabaje con UNA MUESTRA CADA VEZ:

Ingrese el programa 535. Presione *enter*.

Ajuste el aparato para leer a 890 nm y coloque el adaptador de lectura para tubos.

Retire el tapón del primer vial y agregue 2 ml de *hidróxido de sodio 1N*.

Limpie bien el vial de posibles huellas dactilares y colóquelo en el adaptador. Tape y presione cero para calibrar la lectura de la muestra.

Retire el vial del adaptador, remueva el tapón y añada un sobre de *Phos Ver 3* para muestra de 10 ml. Tape muy bien y agite durante 10-15 segundos.

Seleccionar teclas *Shifi + Timer*. Se iniciará un conteo automático de 2 min.

Al sonar el timbre, coloque nuevamente el vial en el adaptador y lea. Con las flechas (teclas) hacia abajo y hacia arriba, leer las formas: P, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> —► Anotar los tres resultados de lectura.

Proceda igual con los viales subsecuentes, incluyendo el "blanco" de agua destilada.

NO DEJE PASAR MÁS DE 8 MINUTOS PARA LEER TODOS LOS VIALES

QUE HAYA PREPARADO

## SÍLICE

MÉTODO 8185

Método del Silicomolibdato

Ajuste el espectrofotómetro en el modo constante, presionando las teclas:

6[BATT] -5 [TIMER] -6 [BATT]

Ingresar el programa 656. Presione *enter*.

Ajustar aparato para leer a 452 nm

Llenar una celda de 10 ml con agua de la muestra. El agua deberá estar entre 15 y 25 °C

Añadir el contenido de un sobre de *reactivo de molibdato*. Revuelva para mezclar.

Añadir el contenido de un sobre de *reactivo ácido*. Revuelva para mezclar.

Seleccionar teclas *Shift + 5[Timer]*. Se iniciará un conteo automático de 10 minutos.

PRESIONE *RX1TY* MIENTRAS EL CONTEO DE LOS 10 MINUTOS PROSIGUE  
asUTOMATICAMENTE CONTINÚE CON LOS PASOS 8-10:

Presione nuevamente *Shift + Abs*. La pantalla desplegará Abs. Rote la perilla de ajuste de longitud de onda a 460 y Presione *enter*.

Presione *cero* y la pantalla desplegará 0.000 ABS.

-

Tenga lista la solución de *triclora de holmio* en una celda para 25 ml. Coloque la celda con triclora en el aparato. Cierre la tapa y con la celda dentro comience a rotar la perilla muy lentamente disminuyendo la longitud de onda. Vigile la lectura hasta alcanzar el pico de absorbancia (la pantalla parpadea un instante). Este pico deberá ocurrir entre 450 y 454 nm y el parpadeo deberá ocurrir en  $452 \pm 1$  nm. Deje la lectura ajustada a esa longitud de onda y remueva la celda con el triclora.

Coloque el elevador de celdas de 10 ml. Cierre la tapa.

Cuando suene el timbre (del conteo de 10 minutos que procedió automático), añada el contenido de un sobre de *ácido cítrico* a la muestra preparada y revuelva para mezclar.

Presione si un + 9[CONC] y luego presione si m i + 5[TIMER]. Se iniciará un período de reacción (conteo) de 2 minutos.

Cuando suene el timbre llene una celda de 10 ml con agua de la muestra (el blanco) e insértela en el aparato para calibrar a cero. Presione *cero*.

Cuando se despliegue una concentración de cero en la pantalla, colocar la muestra que se preparó y leer. Con las flechas (teclas) hacia abajo y hacia arriba, leer las formas: S1O2 y .Anotar ambos resultados de lectura.

LEA TODAS LAS MUESTRAS QUE PREPARÓ CON ESTE PROCEDIMIENTO SIN DEJAR PASAR MÁS DE 3 MINUTOS DEL CONTEO DE REACCIÓN ORIGINAL DE 10 MINUTOS

Lavar las celdas enjuagando  $\pm$  8 veces con agua del grifo y dos veces más con agua destilada. Escurrir invertidas sobre un papel, secando por fuera con un paño limpio y papel suave absorbente.

Cuando escurra la mayor parte del agua, secar por dentro con papel suave, absorbente.