



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

MONITOREO DE CLOROFILA *a*
Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN
XOCHIMILCO
DURANTE LA EPOCA SECA

REPORTE DE INVESTIGACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G A
P R E S E N T A

DONAJÍ ESTELA VILLEGAS CASTAÑEDA



TUTORA: DRA. ROSA LUZ TAVERA SIERRA

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1.- Datos del alumno

Villegas

Castañeda

Donaji Estela

56009082

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

0-9000469-2

2.- Datos del tutor

Dra.

Rosa Luz

Tavera

Sierra

3.- Datos del sinodal 1

Dr.

Eberto

Novelo

Maldonado

4.- Datos del sinodal 2

M. en C.

Marcia María

Ramírez

Sánchez

5.- Datos del sinodal 3

Dra.

María Edith

Ponce

Márquez

6.- Datos del sinodal 4

M. en C.

Guadalupe

Vidal

Gaona

CONTENIDO

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	8
ÁREA DE ESTUDIO	8
METODOLOGÍA	11
RESULTADOS	14
DISCUSIÓN	27
REFERENCIAS	32
ANEXO 1	36
ANEXO 2	37

RESUMEN

Este trabajo da seguimiento al monitoreo, análisis y caracterización de tres zonas del lago de Xochimilco: la laguna de la Virgen, el canal Japón y el canal del Bordo en época de estiaje. La finalidad de este informe es explicar la variabilidad del fitoplancton de los sitios estudiados y se basa en la premisa de que el monitoreo de la comunidad productora primaria, que aporta indicios del estado ecológico de un ambiente acuático.

Los resultados mostraron diferencias claras en el comportamiento de las variables para cada uno de los sitios monitoreados, lo cual es consecuente con la influencia diferente que reciben, pero además mostró que la importancia de las variables durante la época seca puede ser diferente de las variables con mayor peso durante la época de lluvias.

A través de modelos de regresión lineal multivariada este estudio confirmó que en un sistema hipertrófico como Xochimilco es posible detectar cambios en la comunidad productora primaria y que estos cambios reflejan una respuesta a las condiciones físicas y químicas del ecosistema. Esa respuesta puede indicar posibles rutas sobre manejo del sistema acuático.

INTRODUCCIÓN

Los lagos urbanos son ambientes acuáticos muy importantes para las grandes ciudades (Arroyo-Martínez & Jáuregui 2000). En el caso de Xochimilco, es una zona agrícola chinampera y un centro turístico por tradición, que hoy en día tiene importancia ecológica porque se reconoce su gran potencial como reserva biótica. Sin embargo debido a la pérdida de agua por el crecimiento del área metropolitana y a la complejidad hidrológica de la cuenca lacustre del Valle de México, se ha acelerado la eutrofización del sistema acuático en Xochimilco.

La eutrofización de los ambientes acuáticos es un proceso originado por el incremento de nutrientes, que se traduce en una elevada densidad del fitoplancton y frecuentes cambios en su composición (Pollinger 1986). El rápido y continuo aporte de nutrientes hacia los cuerpos de agua de diversas regiones del mundo ha ocasionado que, como en Xochimilco, muchos de ellos alcancen el estado de eutrofia extrema, denominada hipertrofia (Alvarez-Cobelas & Jacobsen 1992) que se caracteriza por una elevada concentración de nutrientes, así como de clorofila *a*, en gran medida de origen fitoplanctónico.

La biomasa de fitoplancton puede ser estimada determinando la concentración de pigmentos en una muestra de agua (Irastorza e Ibañez 1981). Midiendo la concentración de la clorofila-*a* podemos evaluar la cantidad de fitoplancton presente en un cuerpo de agua ya que la clorofila *a* es el pigmento común de todos los organismos que realizan fotosíntesis con la liberación de oxígeno. Puesto que las algas contienen este pigmento, la cuantificación nos da también una medida indirecta de la magnitud del fenómeno de la eutrofización (Reynolds 2001). Para los lagos oligotróficos los valores son: 1 a $10\mu\text{gL}^{-1}$, en tanto que para los lagos eutróficos pueden ser de $300\mu\text{gL}^{-1}$ o más (Contreras 1994; Lampert & Sommer 1997). Cuando se realizan estudios sobre ecología del fitoplancton, se debe tomar en cuenta que esta comunidad sufre variaciones estacionales y espaciales en su abundancia y composición. Los cambios estacionales ocurren a escalas de semanas, meses y años; sin embargo, pueden presentarse pequeñas oscilaciones con mayor frecuencia en escalas mucho más cortas (minutos y horas), denominadas segregación vertical. Esta puede ser favorecida principalmente por diferentes mecanismos de disponibilidad de nutrientes y presencia de luz. La distribución horizontal de

los organismos ocurre formando manchas y se cree que está influenciada por los vientos y por gradientes en las características físicas y químicas (Margalef 1983; Reynolds 1984).

Algunos aspectos de la ecología del fitoplancton en los lagos urbanos han sido estudiados por Edson y Jones (1988) quienes determinaron la variación espacio-temporal del fitoplancton de los lagos suburbanos de Virginia, E.U. Asimismo, Redfield (1991) estudió la dinámica de los nutrientes en tres de estos ambientes y Lim (2003) investigó la influencia de la variación de la calidad del agua sobre el fitoplancton, en una cuenca urbana tropical de Singapur. En México existen trabajos en lagos urbanos como el de Ortiz y Rubalcaba (2005) quienes realizaron una evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco, muestreando cuatro estaciones del lago en el año 2003; estos autores determinaron algunos parámetros físico-químicos y clorofila *a* y catalogaron el sistema lacustre como hipereutrófico. Este estado trófico implica condiciones inestables y deterioradas, las cuales pueden llevar a la pérdida de la biodiversidad y de los recursos acuáticos.

Oliva *et. al.*, (2008) presentaron la composición y dinámica anual del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico desde septiembre de 2003 hasta agosto de 2004; midieron temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad, clorofila *a* y nutrientes (N y P). Tavera y Díez (2009) realizaron un estudio dentro de las mismas localidades que se presentan en este estudio y mostraron que la variabilidad de la riqueza de especies está correlacionada con la variabilidad físico-química del sistema acuático, especialmente con nitrógeno e irradiación. Xolalpa (2009) describió y analizó estas mismas tres zonas del lago de Xochimilco a través del estudio de parámetros físico-químicos, así como su relación con las concentraciones de clorofila *a* y encontró que la variación de la biomasa fitoplanctónica puede ser explicada por variables particulares, dependiendo del sitio de estudio.

Nuestros resultados en el presente trabajo son consecuentes con las investigaciones previas mencionadas y hemos mostrado que los parámetros ambientales pueden tener una influencia diferente, dependiendo de la época del año y de las condiciones climáticas.

JUSTIFICACIÓN

La zona lacustre de Xochimilco ha sido ampliamente estudiada desde el punto de vista histórico, social, ecológico e hidrológico y debido a su importancia cultural ha sido designada por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad. Además este sistema ha sido tradicionalmente un proveedor de alimentos (hortalizas en su mayoría) y aporte de agua. A pesar de que Xochimilco es un área sometida al uso de herbicidas, plaguicidas y producción sin control de ganado, el 67.3% de su superficie es considerada como área de conservación ecológica (Aranda2004), que incluye tanto las áreas circundantes como la zona de chinampas.

Esta área se encuentra amenazada además por la presión de las invasiones y la construcción hormiga por lo es muy importante que este sistema lacustre sea monitoreado, permitiendo establecer una comparación de los diferentes parámetros involucrados. Así pues, en el manejo, vigilancia y control del recurso hídrico es necesario disponer de información relevante para su adecuada interpretación (parámetros meteorológicos en la zona circundante y las variables físicas, químicas y biológicas), pues Xochimilco es un sistema lacustre que ha quedado dentro de la Ciudad de México, en el que las zonas urbanas aledañas imponen variaciones importantes, al ser alterado también el micro clima (Martínez-Arroyo y Jáuregui 2000).

El presente trabajo pone énfasis en la clorofila *a*, siendo el principal pigmento fotosintético presente en el fitoplancton, opuede utilizarse como un parámetro efectivo para medir cambios en esta comunidad y que se relacionen con la situación ambiental del cuerpo de agua. Por las razones expuestas previamente, estamos equiparando la biomasa fitoplanctónica con la concentración de clorofila *a* en un concepto de biomasa como peso fresco (Reynolds 1984). Al monitorear las zonas que hemos seleccionado, podemos tener una información del manejo que se da al ecosistema y en cierta medida, predecir un comportamiento futuro. Consideramos que podemos tener un panorama de cómo responden algunos sitios con diferente influencia, porque hay diferencias marcadas entre ellos. Por ejemplo, la Virgen se ubica en un área con actividad agrícola moderada, el canal Japón en un área con actividad agropecuaria intensa y el canal del Bordo, en un área con actividad turística significativa (Tavera & Díez 2009).

A través del monitoreo de estas zonas podemos darnos cuenta sieste cuerpo de agua mantiene o disminuye la calidad del agua. Hasta el momento y con base en los resultados obtenidos en

este estudio del sistema lacustre de Xochimilco, se ha corroborado que se trata de un sistema hipereutrófico; dicho estado es indicativo de las condiciones inestables y deterioradas que prevalecen en el lago, las cuales pueden provocar la pérdida de la biodiversidad y los recursos acuáticos en un tiempo relativamente corto.

OBJETIVOS

- Medir la clorofila *a* como indicador del comportamiento del fitoplancton.
- Evaluar los cambios estacionales en la clorofila *a* y relacionarlos con los parámetros físico-químicos y nutrientes en tres localidades de Xochimilco, durante la época seca.
- Comparar el comportamiento del fitoplancton en época de lluvias y en época seca en las tres localidades de estudio, con base en análisis realizados por otros autores para época de lluvias.

AREA DE ESTUDIO

Xochimilco se encuentra en el sureste de la Ciudad de México, entre 19° 15' 11" y 19° 15' 19" de latitud norte 99° 07' 00" y 99° 02' 00" de longitud oeste. Consiste en una red de canales de 3 a 6 m de ancho, con una superficie total de agua de 190 hectáreas. La profundidad va desde 2.5m hasta 4m en el sitio más profundo. Xochimilco está situado a 2240 m.s.n.m. El clima es templado lluvioso con inviernos benignos, veranos frescos, lluvias dentro del verano y el otoño, precipitación pluvial de 700 mm al año y una temperatura media anual de 12.7 a 13.7 °C (García 1973). Las fuentes de agua del lago son la planta de tratamiento de aguas residuales del Cerro de la Estrella, de San Luis Tlaxialtemalco y San Lorenzo Tezonco (Aranda, 2004). Otra fuente de abastecimiento son los escurrimientos superficiales originados por los arroyos de Santiago, Parres, San Lucas y San Gregorio. En la zona se localizan los canales de Amelalco, Ampipilco, Apatlaco, Atlitic, del Bordo, Cuemanco, Japón, Nacional, la Noria, Tlicuilliy Texhuilo; dentro de este sistema también podemos encontrar las lagunas de

Caltongo, Tlicuilli, Tlilac, Texhuilo, El Toro, La Virgen, y Xaltocan (INEGI, 2008). De acuerdo con los datos de las áreas elegidas como estaciones de muestreo, es una área semi-rural con turismo, comercio, agricultura y ganadería como actividades principales y fueron determinadas por las distintas actividades que se desarrollan en cada una (Programa Delegacional de Desarrollo Urbano 1997) (INEGI 2001; Gaceta Oficial del Distrito Federal 2006).

Las localidades que fueron elegidas son: la Laguna de la Virgen, El canal Japón y el Canal del Bordo.

La Laguna de la Virgen se localiza en 19° 16' de latitud norte y 99° 05' de longitud oeste. Este sitio tiene una actividad agrícola moderada; en las chinampas que rodean la laguna no existen asentamientos humanos, pero si se observan cultivos de maíz, hortalizas y flores. Esta laguna tiene poca circulación de embarcaciones y confluyen en ella tres canales, uno de ellos procedente del canal de Cuemanco.



Figura 1. Laguna de la Virgen

El Canal Japón se ubica en 19°16' de latitud norte y 99° 06' de longitud oeste. Este canal tiene una actividad agrícola intensa, principalmente en cultivos de plantas ornamentales y en la ribera norte se encuentra la cuenca lechera; los asentamientos humanos, aunque no están presentes sobre la orilla del canal, son muy cercanos. En este canal se encuentra la estación de máquinas de limpieza de lirio (*Eichiorniacrassipes*(Mart)Solms de la zona. Este canal sirve de división entre los ejidos de san Gregorio Atlapulco y Xochimilco, supuestamente del Área natural protegida y generalmente se encuentra con abundante lirio. (Reynoso 1986).



Figura 2. Canal Japón con lirio acumulado a lo largo de la orilla.

El canal del Bordo se localiza en 19°17' latitud norte y 99°06' de longitud oeste esta zona tiene una actividad turística intensa y por ser una vía de entrada hacia los demás canales transitan gran cantidad de embarcaciones de motor y trajineras. Aquí se encuentra el embarcadero de Cuemanco con gran cantidad de comercios. La longitud del canal del Bordo es de 2.4 km y forma una intersección entre el canal de Cuemanco y el canal Japón, conectando en el trayecto con el parque ecológico de Xochimilco (PEX). En el canal del Bordo los asentamientos humanos son mínimos y las chinampas están dedicadas en su mayoría a la actividad agrícola.



Figura 3. Canal del Bordo

METODOLOGÍA

El trabajo de campo se realizó del 23 de febrero al 20 de julio de 2009, el registro fue quincenal y en cada una de las localidades se hicieron tres colectas por sitio; en cada uno se monitoreó la temperatura, el pH, la conductividad y el oxígeno con un potenciómetro y un oxímetro de campo (Conductronic). Estos equipos corrigen la lectura para la temperatura; en el caso de la conductividad se obtiene el registro de K_{25} . El oxígeno disuelto se registró en concentración en miligramos por litro (mg L⁻¹).

La clorofila *a* se determinó a partir de un litro de agua recolectado con un frasco de boca ancha, del que se separó una submuestra de 100 ml filtrándola *in situ* en un dispositivo Millipore, utilizando un filtro de fibra de vidrio (GF/C). El filtro se dobló en papel absorbente, se eliminó el exceso de agua y se guardó en papel aluminio para aislar la muestra de la luz. Los filtros se transportaron en refrigeración. El pigmento fue estimado por concentración en microgramos por litro, con corrección para feofitinas (Lorenzen 1967). Para su determinación se utilizó un espectrofotómetro Hach DR-2500. El método para la determinación de la concentración se describe en el anexo 2.

Se recolectaron además 250 mililitros para la determinación de nutrientes, en un recipiente de material inerte (PET). Esta muestra también se mantuvo en refrigeración y en el laboratorio se determinaron inmediatamente nitratos (método de reducción de cadmio), nitritos (método de diazotización), amonio (método del salicilato), fósforo total (método de digestión ácida y extracción por persulfato de potasio) y sílice (método del silicomolibdato), utilizando un equipo Hach DR-2500. Los métodos utilizados (Anexo 2) son consecuentes con los requisitos para publicación de resultados (APHA, AWWA y WPFC 1992).

También se hizo la medición de la transparencia con el disco de Secchi, el cual fue sumergido hasta perder de vista la parte blanca del mismo.

Se realizó una matriz con los datos de los tres sitios recolectados por fecha, en cada localidad. Estos sitios se denotaron con el prefijo Xo y el número correspondiente. De cada sitio se tienen tres datos, cada uno con los parámetros físico-químicos, los nutrientes, la concentración de clorofila *a* y los datos de geoposición (Garmin, Geko 201). Para el análisis estadístico, se seleccionaron los datos de nitrato, amonio, nitrito, fósforo total, sílice,

temperatura, pH, conductividad, transparencia de Secchi y concentración de oxígeno disuelto como variables predictivas y la concentración de clorofila *a* como variable dependiente, como se muestra en la tabla final del anexo 1. Se trabajó con Excel para la construcción de matrices por localidad, normalizando los datos (LN + 1) para su posterior análisis con el programa estadístico SPSS versión 17.0 a través de un Análisis de Varianza (ANOVA) y Regresión lineal multivariada.

En cada modelo de regresión se presenta una selección de los resultados más importantes producidos por SPSS, que incluyen, de acuerdo con apuntes preparados por R. Tavera (2009, material no publicado), los siguientes aspectos:

1. La estadística descriptiva con las variables seleccionadas para elaborar el modelo y el número de casos analizados;
2. Los resultados de la correlación de Pearson y su significancia con 95 % de confianza;
3. El resumen del modelo que destaca el porcentaje de la variabilidad explicada, con base en el valor de R^2 ajustada; el cuadro incluye el valor del estadístico de Durbin-Watson que verifica la H_0 de que los residuos de una regresión son independientes, en contra de la H_1 de que los residuos sigan un proceso autorregresivo de 1° orden. El estadístico de Durbin-Watson tiene un rango entre 0 y 4: un valor próximo a 2 indica escasa autocorrelación; un valor entre 2 y 0 indica una autocorrelación positiva mientras que un valor entre 2 y 4 indica una autocorrelación negativa;
4. El resultado del ANOVA de la regresión, que nos indica si hay una diferencia significativa o no entre las medias de las variables independientes y la variable dependiente ($p \leq 0.05$).
5. El resultado de los coeficientes de correlación en donde los coeficientes no típicos representan los valores de 'X' y de la constante en la ecuación de regresión ($\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$), es decir representan el efecto de cada variable independiente sobre la variable dependiente, de una manera autónoma con respecto a los efectos de las otras variables independientes. Los valores de Beta (coeficientes típicos) deberán estar suficientemente alejados de cero pues miden la contribución de cada variable al modelo. Esto se mostrará en cierta medida por un valor alto de **t** y pequeño de **p** (no necesariamente ≤ 0.05 , aunque es mejor), que sugieren que esa variable predictiva

tiene un gran impacto sobre la variable dependiente. Asimismo, los valores de tolerancia, que mientras más distantes de cero, menor colinearidad con las otras variables y los factores de amplificación o inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés) que comparan las relaciones lineales entre las variables predictivas. Un valor alto de VIF (debe ser menor a 10) indica que se provocaron estimadores β_i grandes, es decir que se amplificó artificialmente la varianza.

6. La tabla de estadísticos de los residuales, en la que se resalta el valor de la desviación estándar para los valores típicos predichos por el modelo y que debe ser igual a 1.0, con una media de cero; asimismo, se incluyen los valores de los estadísticos de Cook y el valor centrado de Leverage, que son medidas que indican la distancia de los casos desde el centro de la variable independiente. La distancia de Cook es una combinación de los residuales estudentizados y la distancia de Leverage. Cook denota cuando hay un caso sesgado (lejos de la línea de regresión y lejos en la cola de la variable independiente), que tendría una influencia significativa sobre los parámetros estimados. El valor de Cook no deberá sobrepasar 1.0. El valor promedio para Leverage es $p \div N$, donde p es el número de variables predictivas más la constante y N el número de casos. Los casos con alto Leverage son potencialmente casos influyentes, así que Leverage no deberá sobrepasar el valor calculado.
7. Por último, en cada modelo se incluyen tres gráficos, el de normalidad para la regresión de los residuales, permite visualizar si hay una distribución sesgada de los casos con respecto a la varianza y resume el valor absoluto de la desviación estándar que deberá ser cercano a 1.0; el gráfico de probabilidades que permite visualizar si los casos, como producto de los valores acumulados esperados *versus* los observados, se distribuyen cercanos a una recta de 45° el gráfico de residuales estudentizados ajustados *versus* los valores típicos predichos por la regresión, que permite visualizar si existe una dispersión equitativa de los casos con respecto de cero y si existen casos sesgados.

RESULTADOS

Debido a que la utilización de unidades diferentes produjo valores muy diferentes entre los datos de las variables, se consideró conveniente transformarlos a través de la función logaritmo natural + 1. Esto permitió obtener siempre valores positivos.

La transformación posibilitó un resultado válido en la prueba de normalidad por localidad (Virgen, Bordo y Japón). Los valores de cada variable se ordenaron por sitio de muestreo (1, 2 y 3); en total se obtuvieron 30 datos por localidad en el periodo del 23 de febrero al 20 de julio. Se analizó la homogeneidad de los datos y la variabilidad en cada conjunto (ANOVA). Para un ajuste que optimizara la significancia, se promediaron los tres valores de cada sitio, de manera que se trabajó con un conjunto final de 10 datos por sitio. El ANOVA con los datos normalizados mostró que el nitrato, amonio, pH, conductividad y la transparencia como variables predictivas, así como la clorofila *a* como variable dependiente, serían confiables (diferencia de medias significativa [$p=0.0005$] tanto dentro de cada localidad como comparando las localidades entre sí), para desarrollar un modelo de regresión. Este análisis descartó entonces el sílice, la temperatura y el oxígeno disuelto como variables posibles para explicar la variabilidad de la clorofila *a* en los sitios estudiados.

LAGUNA DE LA VIRGEN

En un modelo inicial utilizando los datos de los 10 muestreos (no se incluye en estos resultados), encontramos uno de los casos como valor sesgado. Esto fue muy notorio en la gráfica de residuales, sobre todo porque la distribución de los casos restantes fue bastante equitativa. Se eliminó ese caso sesgado del análisis y el modelo final resultante fue muy robusto en el sentido de que se explicó un porcentaje muy alto de la varianza (70%, representado por la R^2 ajustada). Asimismo, el ANOVA de la regresión fue significativo ($p < 0.05$), los coeficientes β ganaron significancia y los valores de VIF fueron menores a 10 (es decir que no hubo amplificación artificial de la varianza). Los diagnósticos de colinearidad indicaron que se requieren tres variables para explicar la variabilidad de la clorofila lo más satisfactoriamente posible, a pesar de que todavía hubo correlaciones significativas entre algunas variables predictivas.

La distancia de Cook fue mucho menor a 1 y el estadístico de Leverage fue menor al valor promedio de $p \div N$. Aunque la desviación estándar disminuyó frente al modelo con 10 casos y los valores de probabilidades se alejaron un poco de la recta, los residuos mantuvieron la desigualdad de varianzas y ya no se observaron valores sesgados.

Modelo de Regresión lineal multivariada para la Virgen, con 9 casos y tres variables predictivas:

	Mean	Std. Deviation	N
clorofila	.3513097406	...	9
nitrógeno	1.57180423E0	...	9
pH	2.07469050E0	...	9
transparencia	3.49888071E0	...	9

Cuadro 1. Estadística descriptiva (nueve casos).

		clorofila	nitrógeno	pH	transparencia
Pearson Correlation	clorofila	1.000	.460	.251	-.791
	nitrógeno	.460	1.000	-.106	-.712
	pH	.251	-.106	1.000	-.494
	transparencia	-.791	-.712	-.494	1.000
Sig. (1-tailed)	clorofila	.	.107	.257	.006
	nitrógeno	.107	.	.394	.016
	pH	.257	.394	.	.088
	transparencia	.006	.016	.088	.
N	clorofila	9	9	9	9
	nitrógeno	9	9	9	9
	pH	9	9	9	9
	transparencia	9	9	9	9

Cuadro 2. Muestra las variables con valores altos de Pearson que fueron consideradas para elaborar el modelo, aunque no tuvieran una correlación significativa con la clorofila.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.902 ^a	.814	.702	...	1.473

Cuadro 3. Resumen del modelo: el 70 % de la variabilidad de la clorofila *a* puede explicarse en función del conjunto de las variables predictivas seleccionadas.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.130	3	.043	7.282	.028 ^a
	Residual	.030	5	.006		
	Total	.160	8			

Cuadro 4. ANOVA de la regresión: estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	7.597	4.836		1.571	.167		
	nitrógeno	-.386	.422	-.594	-.914	.396	.215	4.662
	pH	-1.717	1.259	-.874	-1.364	.222	.220	4.536
	transparencia	-.885	.509	-1.535	-1.739	.133	.116	8.607

Cuadro 5. Coeficientes β : aunque sólo la transparencia es significativa, se muestran tolerancias aceptables y los valores de VIF son menores a 10, así que el modelo no presentó amplificación artificial de la varianza.

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.1254547834	.5410236120	.3513097406	...	9
Std. Predicted Value	-1.772	1.488	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	.034	.061	.051	.009	9
Adjusted Predicted Value	.1259945780	.5463144779	.3567785373	...	9
Residual	-8.228050E-2	9.2202819E-2	-2.14039E-16	6.0992124E-2	9
Std. Residual	-1.067	1.195	.000	.791	9
Stud. Residual	-1.523	1.408	-.026	1.041	9
Deleted Residual	-1.678550E-1	1.4407114E-1	-5.468796E-3	1.0734040E-1	9
Stud. Deleted Residual	-1.861	1.622	-.038	1.195	9
Mahal. Distance	.623	4.056	2.667	1.170	9
Cook's Distance	.000	.603	.190	.235	9
Centered Leverage Value	.078	.507	.333	.146	9

Cuadro 6. Estadística de residuales: la desviación estándar de los valores predichos es 1 con una media de cero; la distancia de Cook es menor a 1 y el valor centrado de Leverage es menor al valor calculado de $p \div N$.

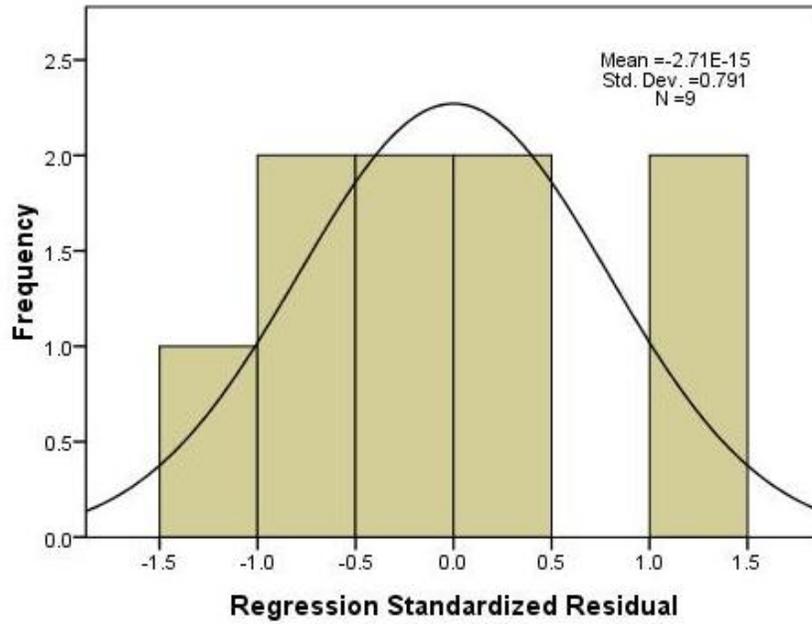


Figura 4. Gráfica de normalidad para la regresión de los residuales. No hay sesgos con respecto a la varianza.

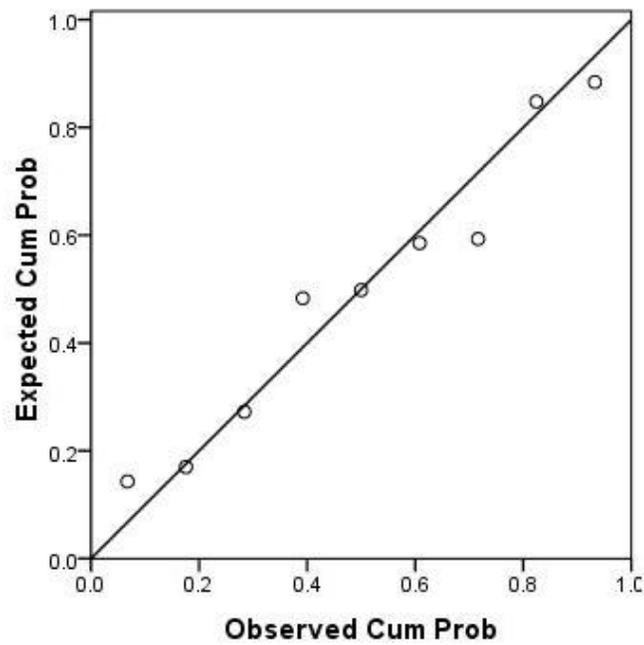


Figura 5. Gráfica de probabilidades para los valores acumulados esperados vs. los observados. Muestra un ajuste satisfactorio con respecto a una recta.

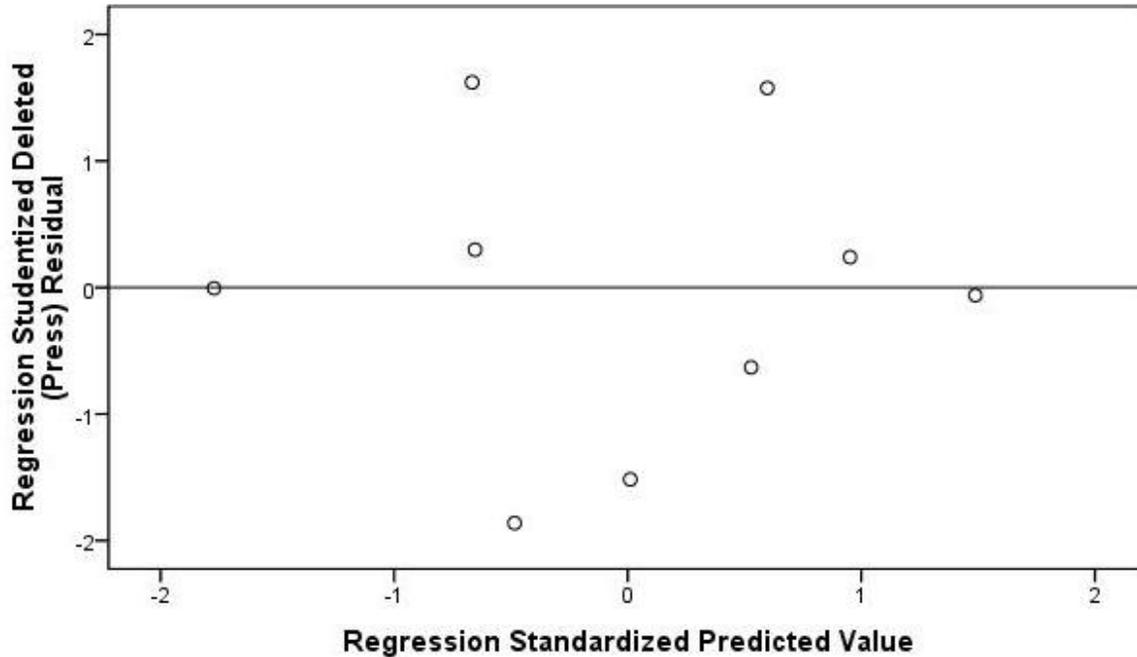


Figura 6. Gráfica de residuales estudentizados ajustados vs. los valores típicos predichos por la regresión. Muestra una dispersión equitativa de los casos con respecto de cero. No hay casos sesgados.

Con base en los datos obtenidos de los coeficientes de correlación, se presenta este modelo de regresión para explicar la variabilidad de la clorofila *a* en función de la variabilidad de algunos factores ambientales monitoreados en la laguna de la Virgen:

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

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

$$\text{Clorofila } a = 9.304 - 0.575 - 1.695 - 1.296$$

CANAL JAPÓN

En un modelo que incluyó los datos de los 10 muestreos (no se incluye en estos resultados), encontramos uno de los casos como valor sesgado. El modelo no tuvo un ANOVA significativo y al consultar la tabla de correlaciones se encontró que la clorofila tuvo una correlación

significativa con el nitrógeno inorgánico disuelto (negativa), con el pH (positiva) y con la conductividad (negativa). Eliminando el caso sesgado, el modelo que incorporó estas variables fue bastante íntegro. Sin embargo aún se presentó correlación significativa entre las variables predictivas, lo que sugirió eliminar alguna de ellas pues serían redundantes para elaborar el modelo; se probaron entonces las bondades de las combinaciones de variables y los resultados indicaron que el pH y la conductividad explican mucho mejor la variabilidad de la clorofila que el nitrógeno inorgánico disuelto.

En el modelo final que aquí se presenta, se consideraron dos variables (pH y conductividad) y el ANOVA para la regresión fue entonces significativo. Asimismo, a pesar de que la correlación entre las variables predictivas continuó, los valores de VIF disminuyeron y los de tolerancia se incrementaron sustancialmente. Cook fue menor a 1 como era esperado y en el estadístico de Leverage, el valor promedio ahora fue bastante menor al valor calculado $p \div N$.

El modelo con estas variables ya no mostró tendencias en la gráfica de normalidad, con una DS muy satisfactoria (Fig. 7); los valores de probabilidades se ajustaron mucho mejor a una recta y al graficar los residuos se observó que no tienen igualdad de varianzas: la distribución de los residuales con valores estudentizados con respecto a los valores típicos fue equitativa respecto de cero.

Modelo de Regresión lineal multivariada para el Canal Japón, con 9 casos y dos variables predictivas:

	Mean	Std. Deviation	N
clorofila	.3575200303	...	9
conductividad	6.66959315E0	...	9
pH	2.22507985E0	...	9

Cuadro 7. Estadística descriptiva (nueve casos).

		clorofila	conductividad	pH
Pearson Correlation	clorofila	1.000	-.918	.727
	conductividad	-.918	1.000	-.659
	pH	.727	-.659	1.000
Sig. (1-tailed)	clorofila	.	.000	.013
	conductividad	.000	.	.027
	pH	.013	.027	.
N	clorofila	9	9	9
	conductividad	9	9	9
	pH	9	9	9

Cuadro 8. Todas las variables con una correlación altamente significativa ($p < 0.05$) fueron consideradas para elaborar el modelo.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.932 ^a	.869	.826	...	1.685

Cuadro 9. Resumen del modelo: el 82 % de la variabilidad de la clorofila a puede explicarse en función de la variabilidad de las variables predictivas.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.072	2	.036	19.953	.002 ^a
	Residual	.011	6	.002		
	Total	.083	8			

Cuadro 10. ANOVA de la regresión: estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	8.136	2.922		2.785	.032		
	conductividad	-1.319	.334	-.775	-3.951	.008	.566	1.768
	pH	.459	.416	.216	1.103	.312	.566	1.768

Cuadro 11. Coeficientes β : aunque sólo la conductividad es significativa ($p < 0.05$), se muestran tolerancias altas y los valores de VIF son mucho menores a 10, así que el modelo no presentó amplificación artificial de la varianza.

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.1757550389	.4874418378	.3575200303	...	9
Std. Predicted Value	-1.910	1.365	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	.015	.032	.024	.006	9
Adjusted Predicted Value	.1447609067	.4905032516	.3590079545	...	9
Residual	-5.454263E-2	5.4948758E-2	-7.35522E-16	3.6906417E-2	9
Std. Residual	-1.280	1.289	.000	.866	9
Stud. Residual	-1.695	1.547	-.015	1.086	9
Deleted Residual	-1.001802E-1	7.9067096E-2	-1.487924E-3	5.9082712E-2	9
Stud. Deleted Residual	-2.143	1.821	-.072	1.263	9
Mahal. Distance	.143	3.703	1.778	1.358	9
Cook's Distance	.002	.885	.220	.294	9
Centered Leverage Value	.018	.463	.222	.170	9

Cuadro 12. Estadística de residuales: la desviación estándar de los valores predichos es 1 y la media es cero; la distancia de Cook es menor a 1 y el valor centrado de Leverage es menor al valor calculado de $p \div N$.

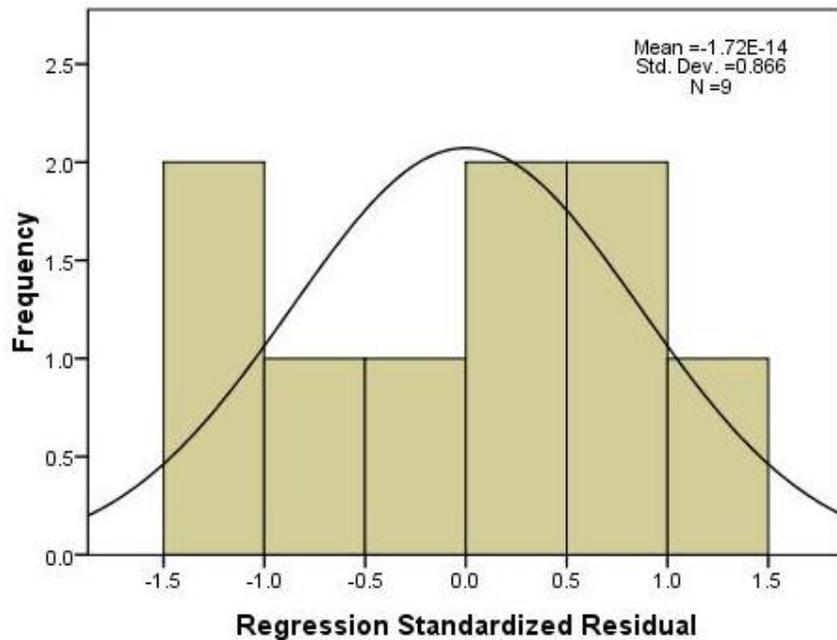


Figura 7. Gráfica de normalidad para la regresión de los residuales. No hay sesgos con respecto a la varianza.

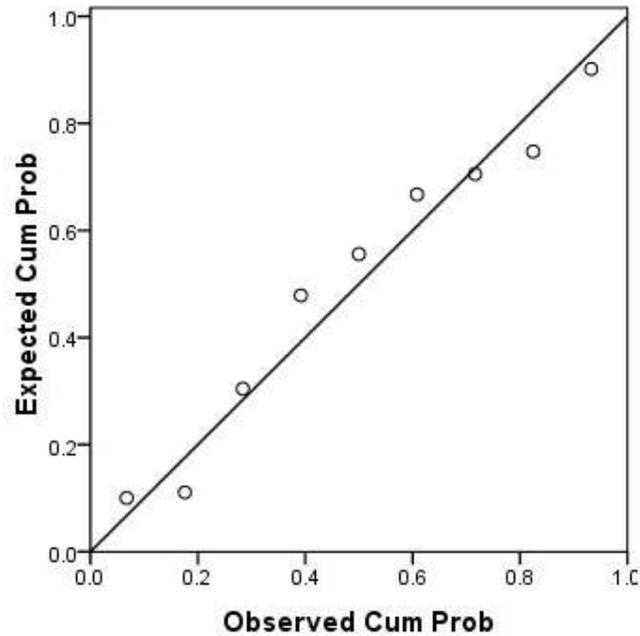


Figura 8. Gráfica de probabilidades para los valores acumulados esperados vs. los observados. Muestra un ajuste satisfactorio con respecto a una recta.

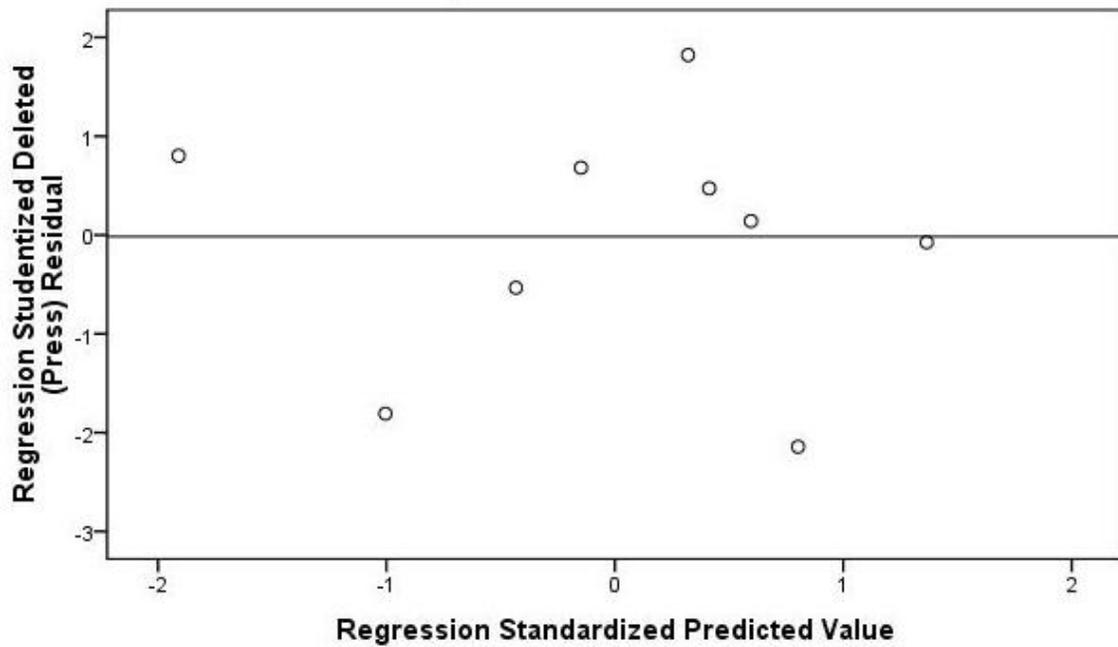


Figura 9. Gráfica de residuales estudentizados ajustados vs. los valores típicos predichos por la regresión. Muestra una dispersión equitativa de los casos con respecto de cero. No hay casos sesgados.

Con base en los datos obtenidos de los coeficientes de correlación, se presenta este modelo de regresión para explicar la variabilidad de la clorofila *a* en función de la variabilidad de algunos factores ambientales monitoreados en el canal de Japón:

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

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

$$\text{Clorofila } a = 8.136 - 1.319 - 0.459$$

CANAL BORDO

El modelo de regresión para este sitio se construyó con base en tres variables predictivas, conductividad, amonio y pH. Esta última variable fue menos importante, pero se mantuvo porque aportó una dispersión de los residuales mucho más equitativa con respecto de cero. La incorporación de las formas nitrogenadas inorgánicas de nitrato y nitrito no se consideraron porque su elevada correlación con el amonio disminuyó la solidez del modelo (colinearidad). Por otra parte, al considerar los 10 casos el ANOVA no resultó significativo. Al eliminar uno de los casos sesgados (dos en total), el modelo se comportó altamente significativo ($p < 0.05$) y se explicó entonces un porcentaje muy alto de la variabilidad (R^2 ajustada = 74 %). En esta situación, la conductividad y el amonio obtuvieron coeficientes β significativos, las tolerancias fueron casi 1.0 y los valores de VIF mucho menores a 10.

Modelo de Regresión lineal multivariada para el Canal Bordo, con 9 casos y tres variables predictivas:

	Mean	Std. Deviation	N
clorofila	.2822408018	...	9
conductividad	6.55096274E0	...	9
amonio	.1569299263	...	9
ph	1.18829430E0	...	9

Cuadro 13. Estadística descriptiva (nueve casos)

		clorofila	conductividad	amonio	ph
Pearson Correlation	clorofila	1.000	.730	-.791	.230
	conductividad	.730	1.000	-.397	.262
	amonio	-.791	-.397	1.000	-.324
	ph	.230	.262	-.324	1.000
Sig. (1-tailed)	clorofila	.	.013	.006	.276
	conductividad	.013	.	.145	.248
	amonio	.006	.145	.	.197
	ph	.276	.248	.197	.
N	clorofila	9	9	9	9
	conductividad	9	9	9	9
	amonio	9	9	9	9
	ph	9	9	9	9

Cuadro 14. Las variables con una correlación significativa fueron consideradas para elaborar el modelo. En el caso del pH, aunque no hubo una correlación significativa se conservó porque aportó solidez a los coeficientes de regresión y no mostró colinearidad con las otras variables.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.917 ^a	.840	.744	...	1.646

Cuadro 15. Resumen del modelo: el 74 % de la variabilidad de la clorofila *a* puede explicarse en función de la variabilidad de las variables predictivas seleccionadas.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.076	3	.025	8.757	.020 ^a
	Residual	.014	5	.003		
	Total	.091	8			

Cuadro 16. ANOVA de la regresión: estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-5.005	2.796		-1.790	.133		
	conductividad	.971	.375	.510	2.588	.049	.823	1.216
	amonio	-.711	.230	-.623	-3.095	.027	.790	1.266
	ph	-.808	1.455	-.106	-.555	.603	.874	1.145

Cuadro 17. Coeficientes β : aunque el pH no fue significativo ($p > 0.05$) mostró también tolerancia muy alta y todos los valores de VIF son bastante menores a 10, así que el modelo no presentó amplificación artificial de la varianza.

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.0993149504	.4052564800	.2822408018	...	9
Std. Predicted Value	-1.876	1.262	.000	1.000	9
Standard Error of Predicted Value	.025	.047	.035	.008	9
Adjusted Predicted Value	.0898678899	.4091953933	.2878080026	...	9
Residual	-6.952620E-2	6.7919462E-2	4.912158E-16	4.2529099E-2	9
Std. Residual	-1.292	1.263	.000	.791	9
Stud. Residual	-1.730	1.458	-.032	.999	9
Deleted Residual	-1.246012E-1	9.0548291E-2	-5.567200E-3	7.0713514E-2	9
Stud. Deleted Residual	-2.443	1.720	-.081	1.205	9
Mahal. Distance	.806	5.328	2.667	1.528	9
Cook's Distance	.000	.593	.165	.201	9
Centered Leverage Value	.101	.666	.333	.191	9

Cuadro 18. Estadística de residuales: la desviación estándar de los valores predichos es 1 con una media de cero; la distancia de Cook es menor a 1 y el valor centrado de Leverage es menor al valor calculado de $p \div N$.

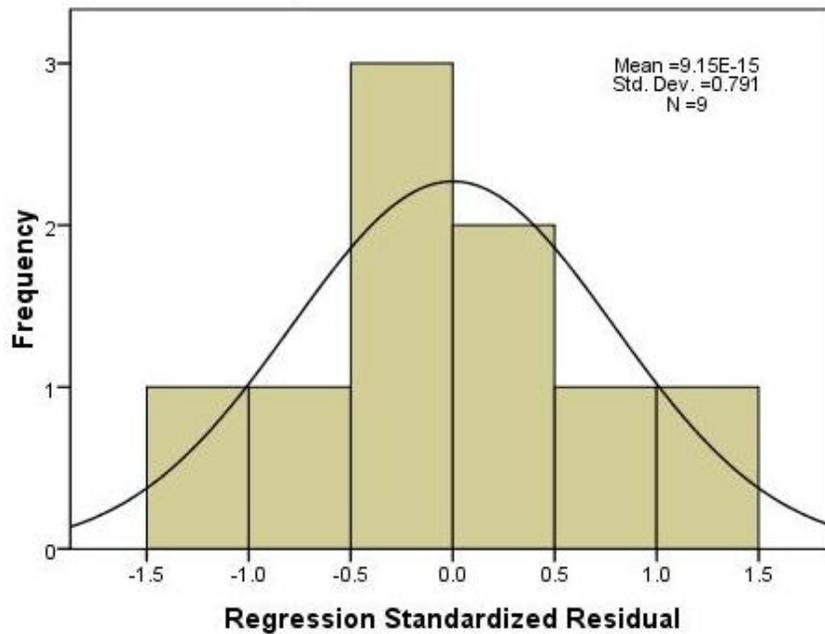


Figura 10. Gráfica de normalidad para los residuales estudentizados. No hay sesgos con respecto a la varianza.

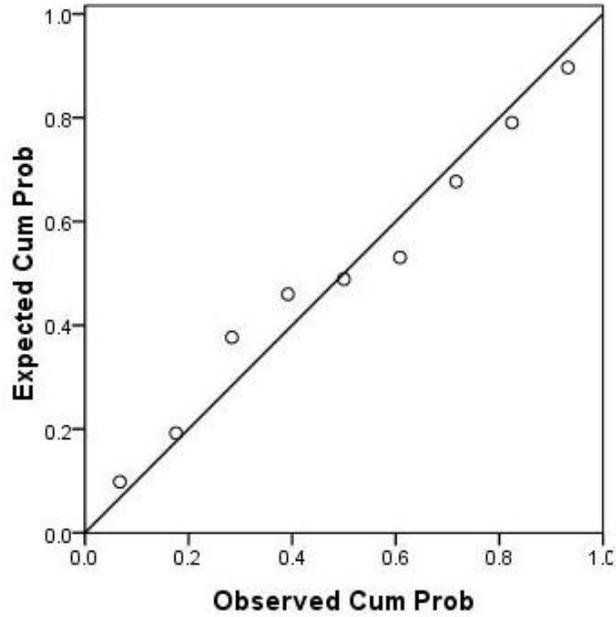


Figura 11. Gráfica de probabilidades acumuladas para los valores esperados vs. los observados. Muestra un ajuste satisfactorio con respecto a una recta.

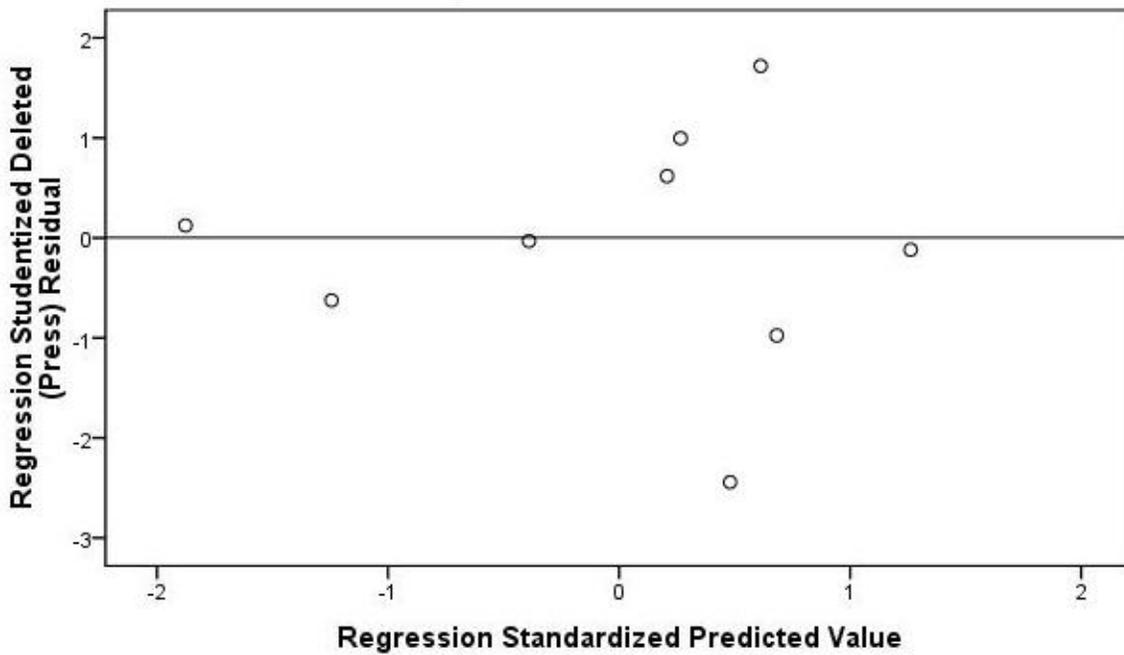


Figura 12. Gráfica de residuales estudentizados ajustados vs. los valores típicos predichos por la regresión. Aunque se observa un caso verticalmente sesgado (> -2), muestra una dispersión equitativa de los casos con respecto de cero.

Con base en los datos obtenidos de los coeficientes de correlación, se presenta este modelo de regresión para explicar la variabilidad de la clorofila *a* en función de la variabilidad de algunos factores ambientales monitoreados en el canal del Bordo:

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

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

$$\text{Clorofila } a = -5.005 + 0.971 - 0.711 - 0.808$$

DISCUSIÓN

La finalidad de este informe de explicar la variabilidad del fitoplancton de los sitios estudiados se basa en la premisa de que el monitoreo de la comunidad productora primaria, aporta indicios del estado ecológico de un ambiente acuático (Lampert & Sommer 1997; Stevenson & Smol 2003; Wetzel 2001). En ambientes con un elevado nivel de eutrofización, es crucial hacer este tipo de seguimientos (Lim 2003) y es especialmente importante en sitios como Xochimilco porque no sólo está en riesgo la ecología del ambiente, sino los servicios ecosistémicos que brinda. La productividad agropecuaria, aunque en gran medida es causante del deterioro del sistema acuático, tal vez por un manejo inadecuado de fertilizantes, pesticidas y condiciones de producción de ganado, también puede verse recíprocamente afectada por un sistema acuático que ha perdido integridad ecológica (Tavera & Díez 2009).

La comunidad planctónica fotosintética responde a la influencia del área de captación de un cuerpo de agua y esta respuesta está permeada por las condiciones climáticas durante las épocas seca y lluviosa (Tavera & Díez *op. cit.*), de manera que la intención de esta investigación de seguir los cambios del fitoplancton, circunscribe nuestras interpretaciones a la época seca, que corresponde con este estudio.

El análisis de los datos mostró diferencias claras en el comportamiento de las variables para cada uno de los sitios monitoreados, lo cual es consecuente con la influencia diferente que

reciben, pero además mostró que la importancia de las variables durante la época seca puede ser diferente de las variables con mayor peso durante la época de lluvias (Xolalpa 2009).

En el caso de la Laguna de la Virgen, las pruebas realizadas para elaborar el modelo de regresión fueron guiando varios ajustes. La tabla de correlaciones obtenida para todas las variables (no incluida en este informe), mostró valores significativos de la clorofila con nitrato, nitrito y transparencia solamente.

Contradictoriamente los valores de VIF mostraron un modelo distorsionado al incluir el nitrito, el nitrato y la transparencia. Regresamos entonces a la tabla de correlaciones y notamos una correlación significativa alta entre las variables predictivas, lo que indicó que algunas debían descartarse. Especialmente fue notable la alta correlación entre nitrato y nitrito por lo tanto se consideró una estrategia mucho mejor sumar los valores para presentar el nitrógeno inorgánico disuelto como un todo, en lugar de sus formas disueltas independientes ($\text{NO}_3\text{-N}$ y $\text{NO}_2\text{-N}$). Lo óptimo hubiera sido incluir el amonio para presentar NID, lo que tiene sentido para el fitoplancton (Florida Lakewatch 2000), pero en la laguna la Virgen el amonio no tuvo una variabilidad interna significativa. Esto implica que el modelo final obtenido para la Virgen es tentativo porque indica que el fitoplancton (clorofila *a*) parece responder a las variaciones sólo de algunas formas de nitrógeno inorgánico disuelto.

La siguiente correlación alta entre variables explicativas (predictivas) fue entre pH y conductividad, lo que indicó que una de ellas debía eliminarse. Se probaron ambas individualmente y se encontró que la conductividad por sí no explica nada de la variabilidad de la clorofila en cambio en pH lo hace en cierta medida. Sin embargo, llama la atención que en los otros sitios, el canal Japón y el canal del Bordo, la conductividad jugó un papel central en los modelos de Regresión. Pensamos que en un ecosistema como Xochimilco tiene sentido biológico que estas variables estén relacionadas con los cambios en el fitoplancton (clorofila *a*), porque la cantidad de sales disueltas podría ser muy variable y afectar al fitoplancton. La conductividad depende en gran medida en la cantidad de materia sólida disuelta en el agua (como la sal). Por ejemplo, el agua pura -como el agua destilada-, puede tener muy baja conductividad. La medición de este parámetro es importante, ya que puede hacer una estimación de la concentración total de la materia iónica disuelta en el agua, la cual es liberada y contribuye a la fertilización del agua (Lind 1985). En el caso de la época de lluvias presentó

valores más elevados, pero en lo que respecta a los valores obtenidos durante la época de secas los valores más altos los presentó la laguna la Virgen ($944\mu\text{Scm}$), el canal de Japón ($920\mu\text{S cm}^{-1}$) y le siguió el canal del Bordo ($840\mu\text{S cm}^{-1}$).

El pH por otra parte puede correlacionarse bien con la actividad fotosintética del fitoplancton, afectada al igual que el pH por acumulación de ácidos orgánicos producto del metabolismo de la elevada cantidad de materia orgánica (Arcos-Ramos et al. 2004).

En el caso del Canal Japón, debido a la intensidad de la actividad agropecuaria, puede ser el sitio en que los cambios en el pH respondan más directamente a cambios en la materia disuelta en el agua de esta localidad, que debe ser altamente variable. Sería posible entonces que en el canal Japón, la biomasa fitoplanctónica se vea mucho más afectada por cambios en el pH (que interfieren con la fotosíntesis), que son a su vez consecuencia de la cantidad de materia que se disuelve en el agua. Ya que el pH puede afectarse por componentes químicos en el agua, es un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente, lo interesante es que esto puede ser detectado a través del estudio del fitoplancton.

En el caso del canal del Bordo, también el nitrógeno (aunque sólo la forma inorgánica amoniacal) tiene importancia, como en la laguna la Virgen y nuevamente, la conductividad y el pH. Aparentemente, tal como señalaron Tavera & Díez (2009), las diferencias en la influencia de la cuenca se ven reflejadas en combinaciones diferentes de las variables fisicoquímicas que pueden ser importantes para el fitoplancton, puesto que explican su variabilidad espacial y temporal.

Es importante señalar que en los tres sitios hubo casos sesgados al producir los análisis de los modelos y nos parece que esto indica una gran variabilidad en cada sitio, que no puede resolverse a través de las tres recolecciones espaciadas que realizamos. Podría pensarse que la mezcla activa, propia de sistemas acuáticos someros (Reynolds 1994; Wetzel 2001) podría matizar el efecto de la influencia puntual de la cuenca, pero los datos señalan que tal vez esto no ocurre durante la época seca. Por ejemplo, este efecto de modelos con casos sesgados no se presentó en los análisis de la época de lluvias (Xolalpa 2009) y sería interesante investigar si la lluvia y los escurrimientos hacia los canales y lagunas de alguna manera tienden a homogeneizar las condiciones fisicoquímicas del agua.

Las diferencias en el sistema entre las épocas seca y de lluvias, también se manifiestan en las variables importantes para el fitoplancton, destacadas por los modelos producidos. Así, en nuestro estudio de la época seca en la laguna de la Virgen, el nitrógeno (como suma de las formas inorgánicas de nitritos y nitratos), el pH y la transparencia fueron las variables incorporadas al modelo de regresión; en el canal Japón, fueron la conductividad y el pH, mientras que en el canal del Bordo fueron la conductividad, el amonio y el pH.

En el estudio realizado durante la época de lluvias (Xolalpa 2009), en la laguna de la Virgen el sílice y el pH fueron las variables incorporadas al modelo de regresión; en el canal Japón, fueron el amonio, el fósforo y la conductividad, mientras que en el canal del Bordo fueron la conductividad y la transparencia.

El pH fue el parámetro más constante en los modelos de ambas épocas, aunque presentó diferencias en las dos épocas de muestreo. En época de lluvias se presentaron cifras más elevadas y en época seca las cifras más elevadas las presentó el canal del Bordo y le siguieron el canal de Japón y la laguna de la Virgen, con menores concentraciones.

Se ha visto que las concentraciones más bajas se presentan en época seca debido a que no hay un lavado del suelo circundante al cuerpo de agua, ya que este lavado provoca el arrastre de compuestos carbonatados, haciendo que estos valores de pH tiendan hacia la basicidad (Ramos-Bello et al. 2001). En este caso el pH guarda una estrecha relación con el CO_2 , compuesto relacionado con la fotosíntesis presente en el sistema. De manera que en los meses de mayor intensidad luminosa y mayor productividad fotosintética se presenta una menor concentración de CO_2 , al aumentar la respiración del fitoplancton y el metabolismo de los microorganismos, por lo cual en estos meses el pH presenta mayor concentración de iones H^+ (Snoeyink y Jenkins 1987). En nuestro caso se observaron niveles elevados de iones OH^- en los meses de muestreo, observando por lo tanto valores superiores a 8 unidades. Siendo este parámetro importante en el análisis y de los que influye en la clorofila por lo tanto en los meses de nuestro estudio el pH tuvo mayor impacto en las tres localidades, que en el estudio de la época de lluvias (Xolalpa 2009).

Es notable que en un sistema hipertófico como Xochimilco el fósforo total, analizado en ambos estudios (época seca y de lluvias), no sea un elemento común en los modelos de

regresión. Las posibles razones no son sencillas de analizar y desde nuestro punto de vista, será necesaria una continuidad en los monitoreos para entender la situación particular del fósforo (Räikel et al. 2003). Sin embargo, podemos mencionar algunos aspectos relevantes. Siendo el fósforo uno de los nutrimentos esenciales que se encuentra en forma disuelta (90%) y en forma particulada, la variación estacional del fósforo está íntimamente ligada a los procesos biológico y geoquímicos. En las zonas tropicales, las variaciones estacionales son mucho menores que en las zonas templadas (Räikel et al. *op. cit.*). En sistemas estuarinos donde la introducción de polifosfatos por medio de la acción de los ríos produce constantes florecimientos fitoplanctónicos, conduce a un agotamiento de oxígeno disuelto por el exceso de materia orgánica, llevando al sistema a la eutrofización. Por lo tanto, la concentración de materia orgánica que pueda formarse en la zona fotosintética, está en relación directa con la concentración de fósforo en el agua (Contreras 1994). Las concentraciones de fósforo (P_{TOT}) en la estación Bordo se comportaron de manera homogénea en las dos épocas de muestreo, pero en la Virgen y Japón durante el periodo de lluvias las concentraciones de este nutrimento fueron menores (Xolalpa 2009). A pesar de que hubo diferencias en las concentraciones de fósforo entre épocas y entre sitios, los valores en nuestro estudio no tuvieron una varianza importante, es decir, no hubo una diferencia significativa entre muestras, ni en tiempo ni en espacio. Esto significa que sería más indicativa una evaluación del fósforo reactivo disuelto para el fitoplancton que el fósforo total (disuelto y particulado).

Durante el estiaje, la zona agrícola de la Virgen es la que tiene concentraciones más elevadas con respecto a Japón y en especial al canal del Bordo. Esto puede deberse en parte a que el fósforo disponible es consumido por la biomasa fitoplanctónica (Parinet et al. 2004), pero como se mencionó antes, no se visualiza hasta el momento una relación directa ni común entre los sitios estudiados.

Finalmente, es importante destacar que este estudio se complementa con el realizado en época de lluvias en los mismos sitios y confirma que en un sistema hipertrófico como Xochimilco es posible detectar cambios en la comunidad productora primaria que reflejan una respuesta a las condiciones físicas y químicas del ecosistema, así que podemos afirmar que esa respuesta puede indicar posibles rutas sobre manejo del sistema acuático. En este sentido debemos considerar el papel tan importante que juegan los sistemas acuáticos en el ambiente urbano y

en el caso de Xochimilco, su papel adicional como reservorio cultural de una tradición de siglos (Arroyo-Martínez & Jáuregui 2000; Tavera & Díez 2009). La generación de modelos para explicar la variabilidad del fitoplancton a través de las condiciones ambientales (factores), es importante porque sintetiza y pondera una gran cantidad de información recabada durante la realización de estos estudios, que son necesarios para llegar a este tipo de conclusiones y que de otro modo no sería posible procesar.

REFERENCIAS

Alvarez-Cobelas, M & B.A. Jacobsen. 1992. Hypertrophic phytoplankton: an overview. *Freshwater Forum* 2:184-199.

Aranda, M. 2004. Zona lacustre “Ejidros de San Gregorio Atlapulco” ficha informativa de los humedales de RAMSAR (FIR). México D.F.

Arcos-Ramos R., J. González-Sánchez, L. Ramos-Mogollan y F. Rosas-Inclán. 2004. Evaluación del componente orgánico como un factor indicativo del estado trófico del Lago de Xochimilco.

http://www.semarnat.gob.mx/ssfna/Legislacion%20Ambiental/Norma.../suelos_nnnom021.ht (Último acceso septiembre de 2010).

Arroyo-Martínez, A. & E. Jáuregui. 2000. On the environmental role of urban lakes in Mexico City. *Urban Ecosystems*. Volumen 4 número 2, 145-166. Kluwer Academic Publishers. Manufactured in the Netherlands.

APHA, AWWA y WPCF. 1992. Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Madrid, Ediciones Díaz Santos.

Contreras E.F. 1994. Manual de técnicas hidrobiológicas. Ed. Trillas. México D.F. 141p

Edson, J.J. & R.C. Jones. 1988. Spatial, temporal and storm runoff-related variations in phytoplankton community structure in a small, suburban reservoir. *Hydrobiologia* 169: 353-362.

Florida Lakewatch. 2000. A Beginner's Guide to Water Management – Nutrients. Part 2, The Concept of Limiting Nutrients. <http://lakewatch.ifas.ufl.edu/>. Último acceso septiembre 2010.

García, M. E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 2ª edición. México D.F. 256p.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. 11 de Enero de 2006. Órgano del gobierno del Distrito Federal. Decimo sexta edición. No. 5. Gobierno del Distrito federal.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2008. Cuaderno estadístico delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Sistema Nacional <http://www.inegi.org.mx>. (Último acceso en septiembre 2010).

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

Irastorza, A. J. y M. Ibañez. 1981. Estudio de los pigmentos en las Algas macrófitas. *MUNIBE, Sociedad de Ciencias ARANZADI* 33 (12): 51-62.

Lampert, W. & U. Sommer. 1997. *Limnology. The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, New York.

Lim, S.H. 2003. Variations in the water quality of a small urban tropical catchment: implications for load estimation and water quality monitoring. *Hydrobiologia* 494: 57-63.

Lind, O.T. 1985. *Handbook of common methods in Limnology*. 2ª ed. Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa.

Lorenzen, C. J. 1967. Determination of Chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12: 343–346.

Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona, España.

Programa delegacional de desarrollo urbano (DDF). 1997. Xochimilco. Registro de los planes y Programas de Desarrollo Urbano. Delegación Xochimilco. México.

Oliva-Martínez, M. G., A. Rodríguez-Rocha, A. Lugo-Vázquez, y M.R. Sánchez Rodríguez. 2008. Composición y Dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* 18 (1 suplemento): 1-13.

Ortíz, R. B. y G. A. Ruvalcaba. 2005. Evaluación del Estado Trófico del Lago de Xochimilco, Méx. Tesis de Licenciatura, FES-Zaragoza, UNAM, México D.F.

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

Pollingher, U. 1986. Phytoplankton periodicity in subtropical lake (Lake Kinneret, Israel). *Hydrobiologia* 138: 127-138.

Räike, O.A., P. Pietiläinen, S. Rekolainen, P. Kauppila, H. Pitkänen, J. Niemi, A. Raateland & J. Vuorenmaa. 2003. Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975- 2000. *The Science of total environment.* 310: 47-59.

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

Redfield, G.W. 1991. Phosphorus, chlorophyll and the comparative limnology of three suburban lakes in Northern Virginia, U.S.A. *Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie* 24: 1294-1299.

Reynolds, C. S. 1984. The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia.* 289: 9 - 21.

Reynolds, C.S. 2001. The ecology of freshwater phytoplankton. Studies in ecology. Cambridge.

Reynoso, A. L. 1986. Estudio del fitoplancton del lago de Xochimilco. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNM.

Snoeyink, V. L. y D. Jenkins. 1987. Química del agua. Editorial Limusa: Noriega Editores, México.

Stevenson, R. J. & J. P. Smol, 2003. Use of algae in environmental assessments. In Wehr, J. D. & R. G. Sheath (eds), *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification.* Academic Press, Amsterdam: 775-804.

Tavera, R. & B. Díez. 2009. Multifaceted approach for the analysis of the phototrophic microbial community in a freshwater recreational area of Xochimilco, México. *Hydrobiologia*. 636: 353-368.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3^o ed. Academia Press. California. 1006 p.

Xolalpa, F. 2009. Monitoreo quincenal de clorofila y parámetros fisicoquímicos en tres localidades de los canales de Xochimilco (Canal del Bordo, laguna de la Virgen y Canal del Japón) período 11 agosto al 3 de Noviembre 2008. Informe de Investigación. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Localidad		[NO ₂ -N] mg l ⁻¹	[NH ₄ ⁺ -N] mg l ⁻¹	[NO ₃ -N] mg l ⁻¹	[Ptot] mg l ⁻¹	[SiO ₂] mg l ⁻¹	CLO-a (μg l ⁻¹)	temp °C	pH (unidades)	Ω μS cm ⁻¹	Prof. Secii	OD mg l ⁻¹
Virgen	1	1.3477890025	0.8456483323	0.6104035680	2.1114884752	1.3437334229	0.5377546487	2.7591974868	2.1091738992	6.6768295946	3.1358501804	2.0023606527
Virgen	1	0.8890760689	0.6360362166	0.4922571836	1.9258589881	3.8967099840	0.5066876624	2.9770870628	2.1428551611	6.6887426138	3.4354274774	1.8994425413
Virgen	1	1.1253615603	0.7386607485	0.5484263493	1.2218239402	3.8001464221	0.3585710949	3.0962528947	2.0474711890	6.7002686349	3.5547956117	2.0493291370
Virgen	1	1.2091786080	0.7684540470	0.5615992304	1.8660695343	2.4393637241	0.4893004713	2.8812353371	2.0365469463	6.7330939383	3.3668171287	1.9460461757
Virgen	1	0.9682193697	0.6697953616	0.5098812630	2.0707230041	2.6497150506	0.2072752150	2.9225966763	2.1627704155	6.6774458350	3.4729011749	1.9460461757
Virgen	1	0.7797675586	0.5738252334	0.4524555365	1.7178835351	3.8803808740	0.2861233102	3.0715271221	2.0518493476	6.6853262478	3.7438080839	2.0304215441
Virgen	1	1.0498847853	0.6931337503	0.5183828807	1.5777549856	2.4820084386	0.2790824670	2.9118942432	1.9796831202	6.7989228517	3.6236931929	1.9022593279
Virgen	1	1.1891298522	0.7413114848	0.5417744105	2.0504827581	2.4900598968	0.3000916978	2.9202471805	2.2001491041	6.6391152679	3.0341032093	2.0773582220
Virgen	1	1.0049167598	0.6954494535	0.5278941248	1.4682984633	3.7772906480	0.3718776725	3.0663724091	2.1064334069	6.6808164164	3.4227102220	1.9782980652
Virgen	1	1.0389034000	0.6839408310	0.5118408791	1.4713479724	3.8518104126	0.1251151237	3.0806593276	2.0354310743	6.7533465753	3.7339233454	1.9928564197
Japon	3	0.9914177473	0.0640526733	0.0630000000	1.8856307016	1.3740838385	0.4429707787	2.9159111068	2.2008752619	6.6380553773	3.2131740022	1.9627745961
Japon	3	0.7215671285	0.1363418098	0.0328086569	2.1358287976	3.8967099840	0.4202036878	3.0489929193	2.2577981542	6.6379982865	3.6176087128	1.9732548143
Japon	3	1.0769347986	0.0691792032	0.1635240270	1.0085185670	3.8001464221	0.3717743549	3.1609080906	2.2090357949	6.6747232066	3.7955983959	1.9940319324
Japon	3	1.0148408126	0.0829630892	0.0545165540	1.8508029119	2.6229255057	0.2944897268	2.9791823040	2.1886844263	6.6881714287	3.6178279390	1.9137098796
Japon	3	0.8539558970	0.1432774882	0.0293930441	1.8488808488	2.6497150506	0.2393128252	3.0359120182	2.2776317527	6.6253623632	3.5104141714	2.0089438970
Japon	3	0.9344534603	0.0907055186	0.0401314743	1.2015299415	3.8486108141	0.3817488996	3.1151743834	2.2094314181	6.6063173086	3.7049344437	1.9913445018
Japon	3	1.0243699649	0.1563944310	0.0861955795	1.2589531872	2.5043453421	0.1987534609	3.0421395391	2.1604960811	6.7848883936	3.7049344437	1.8749130891
Japon	3	0.7795747132	0.0938987309	0.0503610187	1.9749753157	2.6886759867	0.4851493121	3.0584228268	2.3170042745	6.6031013595	3.5747746981	2.0390719175
Japon	3	0.7419373447	0.0701820453	0.0260581358	1.5194740977	3.7772906480	0.4152305255	3.1730678443	2.2721673728	6.6561871893	3.6105162467	1.9405731908
Japon	3	0.9722296887	0.1441005874	0.0248635471	1.2112449175	3.8518104126	0.2073595260	3.1662140841	2.2102259166	6.7368958511	3.6962759482	2.0034222247
Bordo	2	0.5411136059	0.0880209404	0.0072966139	1.7097753355	1.3609866678	0.3019774112	2.8313353450	1.1849575090	6.5662908110	3.3513534703	2.0908080246
Bordo	2	0.6187659968	0.0114627234	0.0092791642	1.8958451456	3.6973457601	0.3998115859	3.0218485957	1.1964291331	6.5779826188	3.2439957448	1.9827131408
Bordo	2	0.8532823116	0.1569500486	0.0066070849	0.5749847344	3.6824429382	0.3516499601	3.1358206225	1.1712344855	6.5635219214	3.3183769286	2.0446467318
Bordo	2	0.6263814842	0.1902649279	0.0148008037	1.4560391158	2.4858005120	0.1189032373	2.9099247586	1.1778241748	6.5899223073	3.2769722866	1.9036080965
Bordo	2	0.8207165542	0.1151109550	0.0046527312	1.7671614936	2.5741075944	0.3271556294	2.9806271375	1.2131720122	6.5618945921	3.0859956751	2.0354544759
Bordo	2	0.7730162730	0.1438218277	0.0066437750	1.5408122196	3.5608795968	0.4098911380	3.1220255504	1.1830802310	6.5985669083	3.4011973817	2.0155447727
Bordo	2	0.4934133247	0.1866414373	0.0364043617	0.9401196936	2.4288081881	0.1439922166	2.9709353080	1.1719608477	6.4341231987	3.3214020959	1.9156139880
Bordo	2	0.9293643029	0.1630799732	0.0076373177	1.6340510816	2.5572548876	0.2427137204	2.9225624278	1.2042509688	6.5295610677	3.1862470598	2.0907828550
Bordo	2	0.9806716637	0.1915146028	0.0089378448	1.4530087132	3.5387205454	0.2595307068	3.1264204300	1.1863100234	6.6228610183	3.3414294176	1.9959694103
Bordo	2	0.3562800434	0.3557668280	0.0346280755	0.9328123361	3.5714866041	0.1034448480	3.0889655293	1.1832535721	6.5038626079	3.3443997197	2.0783590568

ANEXO 1

ANEXO 2

DETERMINACIÓN DE CLOROFILA a CON CORRECCIÓN PARA FEOPIGMENTOS (con espectrofotometría)

Recolectar un litro de agua (frasco PET o Pyrex de boca ancha) como muestra directa e 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 min.) se guarda en la oscuridad y en frío, ya sea a la muestra o el filtro.

Obtener una sub muestra de 250 ml a partir de este 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 metálico 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 1 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 2 y repetir las lecturas a 665 y 750 nm.

Relación ácida es igual al cociente de:

$$(Abs\ 665 - Abs750)$$

$$(Abs\ 665\acute{a}cida - Abs\ 750\acute{a}cida)$$

Calcular la concentración de Clorofila a en µg/L donde:

$$Cl\text{-}a = 29.6 [A_{665} - A_{750}] - (A_{a665} - A_{a750}) \text{ (v/V) L}$$

v es el volumen del extracto (10 ml),

V el de la muestra filtrada (1), A_{665} y A_{750} las absorbancias sin acidificar, A_{a665} y A_{a750} 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 NO₃ – N

Ingresar el programa 355. Presione *enter*.

Ajustar aparato para leer a 55 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 NO₃⁻ -N y NO₃⁻.

Anotar ambos resultados de lectura.

Lavar las celdas enjuagando 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: NaNO_2 , NO_2^- N y NO_2^- → Anotar ambos resultados de lectura.

AMONIO

(Concentración baja) MÉTODO 8155 NH_3 – N (amoníaco)

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 mas 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: NH_4^+ , $\text{NH}_3 - \text{N}$ y $\text{NH}_3 \rightarrow$
Anotar los tres resultados de lectura.

Lavar las celdas enjuagando 8 veces con agua del grifo y 2 veces más con agua destilada.
Ecurrir invertidas sobre un papel, secando por fuera con un paño limpio y papel para lentes.

FÓSFORO TOTAL

(0 – 3.5 mg l⁻¹) 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 *Shift+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_2O_5 y PO_4^{3-} → 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. Resuelva 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 *read* mientras transcurre el conteo de los 10 minutos. Prosiga automáticamente 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 tricloro de holmio en una celda para 25 ml. Coloque la celda con tricloro en el aparato. Cierre la tapa y con la celda dentro y 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. El parpadeo deberá ocurrir en 452 ± 1 nm. Deje la lectura ajustada a esa longitud de onda y remueva la celda con el tricloro.

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 9 [CONC] y luego presione *Shift* + 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: SiO₂

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 ± 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.