



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
CAMPUS MORELOS

**ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA EN LA LAGUNA  
DE TRES PALOS, PARA FINES DE RESTAURACIÓN**

PROYECTO DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA (AMBIENTAL)

P R E S E N T A

KARINA JANNET VACIO MURO

2 0 0 6



## **AGRADECIMIENTO**

Antes que nada, doy gracias a Dios por permitirme seguir con vida y regalarme dos motorcitos que han sido el impulso para terminar este proyecto personal; mis hijos, Karina Yunuen y Enrique.

Gracias a un gran hombre que me dio las fuerzas para seguir con vida y que me hace posible llegar hasta donde he querido, mi esposo.

Agradezco a mis padres y a mis hermanas que siempre han sido para mi, un ejemplo de esfuerzo y grandeza.

A mi Tutor de Tesis, Dr. Alfonso Banderas Tarabay, agradezco infinitamente por el gran apoyo que me brindó, por su paciencia y sobre todo, por compartirme sus conocimientos y por su confianza.

Infinitamente gracias al Dr. De Victorica Almeida, Dr. Luna Pabello, M.C Bandala González y a M.C. Gómez Balandra, que de no ser por ellos no hubiera sido posible obtener el grado.

Finalmente doy gracias a mis amigos Hidrocalidos, que siempre estuvieron dándome su apoyo incondicional y a mis amigos de Cuernavaca que recuerdo melancólicamente.

## DEDICATORIA

Enrique te dedico este esfuerzo, reflejo de tu apoyo para hacerme crecer y ser un buen ejemplo para nuestros hijos, Karinita y Kinkin, que de alguna manera fueron parte importante para alcanzar el grado.

A mis hermanitas, Claudia y Wee, tan lindas e incondicionales y a mis papás que siempre son buen ejemplo para no claudicar ante las adversidades, esta tesis va dedicada de todo corazón para ustedes.

Se la dedico a mi ángel de la guarda; Papá Chilo, que estoy segura que donde quiera que esté, es feliz por mis logros y que me ilumina y me cuida para cumplir con todas mis metas.

Maestra Linda, va por usted.

¡ Va por todos ustedes y por mi !

---

---

**INDICE**

Índice de Tablas.....	<i>i</i>
Índice de Cuadros.....	<i>iii</i>
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
Capítulo 2. Antecedentes	
2.1. Ciclo Hidrológico.....	4
2.2 Lagunas costeras.....	5
2.3 Dinámica de los ecosistemas acuáticos.....	7
2.3.1. Mineralización de nutrientes.....	8
2.3.1.1 Ciclo del carbono .....	9
2.3.1.2 Ciclo del nitrógeno .....	10
2.3.1.3 Ciclo del fósforo .....	12
2.3.1.4 Ciclo del azufre .....	14
2.4 Plancton.....	16
2.5 Fitoplancton.....	16
2.5.1 Composición del fitoplancton.....	17
2.6 Fotosíntesis.....	19
2.6.1 Propiedades de la luz.....	20
2.6.2 Proceso fotosintético .....	21
2.6.2.1 Fase luminosa .....	21
2.6.2.2 Fase oscura.....	22
2.6.3 Tasa fotosintética.....	23
2.6.4 Factores que afectan la tasa fotosintética .....	24
2.7 Producción primaria.....	25
2.7.1 Factores que afectan la productividad primaria .....	26

---

---

---

---

### Capitulo 3. Área de estudio

3.1 Descripción del área de estudio .....	29
3.2 Problemática.....	32

### Capítulo 4. Metodología

4.1 Obtención de datos .....	35
4.2 División del sistema.....	36
4.3 Parámetros Analizados .....	37
4.4 Análisis de los Datos.....	39
4.4.1Elaboración de una tabla de Estadística Descriptiva.....	39
4.4.2 Regresión múltiple.....	40

### Capitulo 5. Resultados

5.1 Estadística Descriptiva.....	46
5.2 Análisis de Correlaciones .....	50
5.3 Análisis Gráfico de la Dinámica en la Laguna de Tres Palos.....	53
5.4 Resultados del Análisis de Regresión Múltiple en el ecosistema.....	63

### Capitulo 6

Discusión.....	71
----------------	----

### Capitulo 7

Conclusiones.....	80
Recomendaciones.....	82

### Capítulo 8

Bibliografía.....	85
-------------------	----

---

---

---

---

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1 .....	5
Figura 2.2 .....	8
Figura 2.3 .....	11
Figura 2.4 .....	13
Figura 2.5 .....	14
Figura 2.6 .....	15
Figura 2.7 .....	23
Figura 3.1 .....	29
Figura 4.1 .....	35
Figura 4.2 .....	37
Figura 5.1 .....	54
Figura 5.2 .....	54
Figura 5.3 .....	55
Figura 5.4 .....	55
Figura 5.5 .....	56
Figura 5.6 .....	56
Figura 5.7 .....	57
Figura 5.8 .....	57
Figura 5.9 .....	58
Figura 5.10 .....	58
Figura 5.11 .....	59
Figura 5.12 .....	59
Figura 5.13 .....	60
Figura 5.14 .....	60
Figura 5.14 .....	61
Figura 5.16 .....	61
Figura 5.17 .....	62
Figura 5.18 .....	62

---

---

---

---

**INDICE DE CUADROS**

Cuadro 2.1 .....	19
Cuadro 4.1 .....	40
Cuadro 5.1 .....	47
Cuadro 5.2 .....	49
Cuadro 5.3 .....	49
Cuadro 5.4 .....	50
Cuadro 5.5 .....	51
Cuadro 5.6 .....	51
Cuadro 5.7 .....	52
Cuadro 5.8 .....	53
Cuadro 5.9 .....	63
Cuadro 5.10 .....	64
Cuadro 5.11 .....	66
Cuadro 5.12 .....	67
Cuadro 5.13 .....	68
Cuadro 5.14 .....	68
Cuadro 5.15 .....	69
Cuadro 5.16 .....	69
Cuadro 5.17 .....	70

---

---

---

---

## RESUMEN

La laguna de Tres Palos se encuentra en la costa chica de Guerrero y tiene estrecha relación con la cuenca de escurrimiento río La Sabana-Laguna de Tres Palos y con las actividades que se desarrollan en la misma. Debido a que es un ecosistema terminal de la cuenca de escurrimiento recibe el impacto de las actividades culturales tanto en el cuerpo de agua como en su periferia.

Debido a la importancia que tiene la laguna como ecosistema que genera una alta productividad, en este estudio se da a conocer la dinámica del fitoplancton a manera de clorofila *a*. Los datos utilizados fueron proporcionados por el IMTA, del muestreo realizado en 1997. Por medio de la estadística descriptiva y la descripción gráfica, los resultados mostraron que la laguna se encuentra en estado  $\beta$ -Eutrófico. Además, debido a las grandes cantidades de materia orgánica aportada por el río La Sabana y la producida por el fitoplancton, las concentraciones de oxígeno disuelto en la laguna se abaten por completo en el fondo de la columna de agua. Incluso, existen ocasiones en la época de sequía cuando se presentan situaciones de anóxia en el centro de la laguna (zona mas profunda). Esto se debe a que el proceso respiratorio predomina sobre la fotosíntesis a excepción de los dos metros de profundidad que es donde el fitoplancton alcanza su mayor tasa fotosintética.

Mediante el modelo lineal multivariado de regresión múltiple se jerarquizaron los factores que influyen significativamente en la producción primaria, obteniéndose que la conductividad y el fósforo total son los únicos factores que intervienen positivamente de manera significativa. Definiendo a la Productividad primaria como la diferencia de la fotosíntesis bruta y la respiración, en cada una de estas fases se realizó un análisis de regresión múltiple. En la fase de fotosíntesis bruta se obtuvo que el factor que influye significativamente de manera positiva es la temperatura del aire, mientras que en la respiración el factor de influencia positiva y significativa es el oxígeno disuelto.



---

---

Por su parte, la Clorofila *a* presentó un comportamiento estacional que se vio beneficiada con la influencia del huracán Paulina (octubre de 1997) ya que hubo un efecto de dilución que aumentó la transparencia en la laguna y aumentó los niveles de salinidad. Como no existe carencia de nutrientes, el aumento en la transparencia mejoró la eficiencia del proceso fotosintético debido a que hubo mayor penetración de luz a la columna de agua.

Finalmente, este estudio demuestra la influencia favorable para el ecosistema costero de los meteoros climatológicos así como la influencia desfavorable de la intervención humana en el ecosistema. Si bien el hombre puede considerarse como un factor natural, su carácter cultural le debería permitir controlar sus efectos negativos sobre el ecosistema. En torno a este supuesto en este estudio se sugieren algunas medidas de restauración. De tal manera, que sirva para nuevas investigaciones relacionadas con la modelación de alguno de los factores de influencia y tomar decisiones para la restauración o bien, para mejorar la calidad del agua de la laguna, ya que se tiene una descripción más precisa de la dinámica del fitoplancton.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras son ambientes particularmente complejos y dinámicos que tienen relación estrecha con la cuenca de escurrimiento y con las actividades que se desarrollan en la misma, tales como la urbanización, la agricultura intensiva y extensiva, la pesca artesanal, la acuicultura, la industria, el turismo, la recreación y la conservación del ambiente. Esta complejidad se incrementa porque las lagunas costeras son ecosistemas terminales de las cuencas hidrográficas que reciben el impacto de tales actividades tanto en el cuerpo de agua como en su periferia (Arredondo 1997, Cruz 2001).

En México, han sido escasos los proyectos orientados hacia la planeación del desarrollo sostenible en las zonas costeras; sin embargo, existen recursos de especial significado ecológico y económico que, bajo la premisa de una utilización planificada, se transformarían en alternativas viables para los grupos sociales ribereños. No obstante que en algunos casos la confluencia de variados intereses ha propiciado serios deterioros ambientales, estos problemas son en su mayoría reversibles a corto y mediano plazo, si se cuenta con la infraestructura adecuada y la voluntad política para resolverlos.

Dada la importancia que tienen las lagunas costeras como ecosistemas que generan una alta productividad, es necesario conocer la dinámica y problemática del cuerpo de agua para identificar, diagnosticar y proponer su conservación y manejo (pesca, acuicultura, recreación, artesanías) (Contreras, 1994)

El fitoplancton se distribuye a lo largo de varios gradientes ambientales como por ejemplo, la temperatura, los movimientos del agua, la radiación, la concentración de nutrimentos y el oxígeno disuelto (Sánchez, 2001). La interacción entre las variaciones de los factores del ambiente acuático y las respuestas fisiológicas del fitoplancton, son una consideración importante en el proceso de evaluación de la producción primaria de las diferentes capas de agua (George, 1981).

En el empleo de los análisis estadísticos en el estudio de la producción primaria (estimada a través de la Clorofila *a*), es importante tener un conocimiento previo del

comportamiento de las variables acuáticas y de cómo deben ser traducidas en los modelos de ecosistemas (Radach, 1982).

Cualquier estudio ecológico es afectado por los errores metodológicos y de análisis; sin embargo, la varianza que se obtiene a partir del muestreo es en muchos de los casos una función de la distribución espacial de los organismos, y esto se observa en mayor grado cuando se encuentran más dispersos, es decir, cuando la varianza entre las muestras es más grande que el promedio, lo cual se debe a que los fitoplanctones generalmente se distribuyen mediante concentraciones locales (manchones) (González-Villela, 1991).

Debido a la complejidad en los procesos de producción fitoplanctónica en los cuerpos de agua, se justifica la utilización del análisis compartamental y descriptivo del sistema, para determinar el tipo y grado de relación entre las variables. Consecuentemente, el análisis de regresión múltiple puede ser empleado para la elaboración de un modelo que permita predecir o simular la producción primaria a través de un subconjunto de variables elegidas bajo un criterio jerarquizante en la ecuación lineal óptima. Con el apoyo de este análisis se puede describir el tipo de relación que existe entre los parámetros seleccionados (Jhonson, 2000).

La importancia en el uso y solución de ecuaciones para el modelaje radica principalmente en la descripción concisa que se obtiene del sistema en estudio, además de que permite efectuar comparaciones y predicciones útiles para la planeación y manejo de recursos; otra de las ventajas es que permite el estudio de las variaciones de los parámetros y de sus posibles trayectorias cuando se cambia el valor de alguno de ellos teóricamente durante el año, de esta forma, se obtiene mayor información sobre los factores en los periodos en los cuales las variaciones son más altas o cuando son más significativas (González-Villela, 1991).

En este estudio, se analizan datos provenientes de la laguna costera de Tres Palos por medio del análisis de regresión múltiple, usando el paquete STATISTICA versión 5 (StatSoft, 1995).

## 1.1 OBJETIVOS

- 1.1.1 Analizar y jerarquizar los factores que controlan la productividad primaria en la laguna de Tres Palos.
- 1.1.2 Definir sobre cuales de estos factores es posible ejercer alguna influencia o control.
- 1.1.3 Contribuir con sugerencias sobre prácticas culturales y dispositivos adecuados para el control de la productividad primaria en la laguna, su conservación y aprovechamiento integral.

## 1.2 HIPÓTESIS

- 1.2.1 Con el conocimiento de los factores que controlan la fotosíntesis en la laguna, es posible dar un diagnóstico de su situación.
- 1.2.2 Es posible definir técnicas adecuadas y accesibles para controlar la productividad primaria en el ecosistema acuático.
- 1.2.3 Los modelos determinísticos resultan en un método complementario auxiliar en el manejo de los sistemas naturales.

## CAPITULO 2. ANTECEDENTES

### 2.1. CICLO HIDROLÓGICO

Para entender la formación del sistema costero, es necesario conocer las fases del **ciclo hidrológico**, que es un término descriptivo aplicable a la circulación general del agua en la tierra (Ver Figura 2.1)

De acuerdo con Campos (1998), el movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol, que proporciona la energía para elevar vapor de agua (evaporación) y transportarlo de manera horizontal (advección); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que descienda el agua condensada por efecto de su expansión adiabática al elevarse sobre el continente (precipitación y escurrimiento).

Se puede suponer que el ciclo hidrológico se inicia con la evaporación del agua en los océanos, el vapor es transportado por las masas de aire en movimiento (viento) hacia los continentes. Bajo condiciones meteorológicas adecuadas, el vapor de agua se condensa para formar nubes, las cuales a su vez dan origen a la precipitación.

No toda la precipitación llega al terreno, ya que una parte se evapora durante su caída y otra es retenida (intercepción) por la vegetación, o los edificios, carreteras, etc. y poco tiempo después, es retornada a la atmósfera en forma de vapor. Del agua que alcanza la superficie del terreno, una parte queda retenida en los huecos e irregularidades del terreno (almacenamiento en depresiones) y en su mayoría vuelve a la atmósfera por evaporación.

Otra parte del agua que llega al suelo circula sobre la superficie (escurrimiento) y se concentra en pequeños surcos que luego integran arroyos, los cuales posteriormente desembocan en los ríos que conducen las aguas a los lagos, lagunas, embalses o mares, desde donde se evapora o bien, se infiltra en el terreno.

Por último hay una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno (infiltración) y va rellenando los poros y fisuras de tal medio poroso.

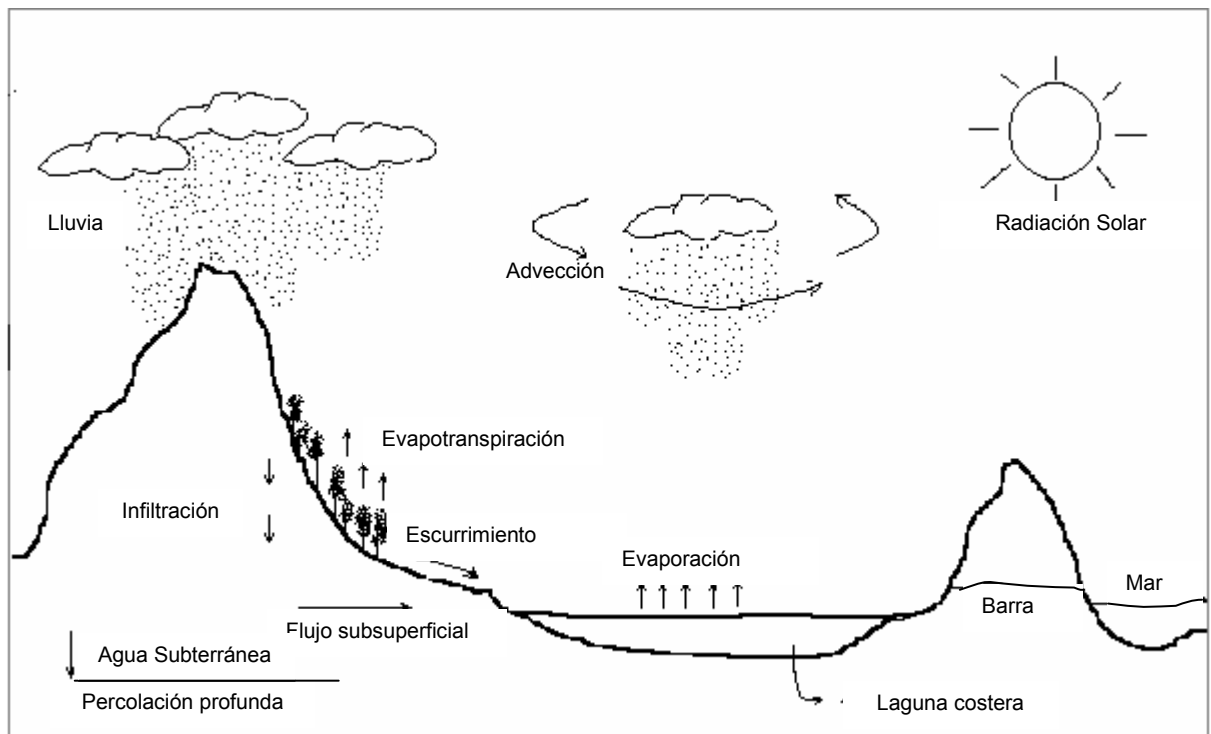


Figura 2.1. Ciclo Hidrológico

Si el agua infiltrada es abundante, una parte desciende hasta recargar el agua subterránea, en cambio, cuando el volumen infiltrado es escaso el agua queda retenida en la zona no saturada (humedad del suelo), de donde vuelve a la atmósfera por evaporación o por transpiración de las plantas principalmente. Para fines prácticos, lo anterior se engloba en el término de evapotranspiración. Bajo la influencia de la gravedad, tanto el escurrimiento superficial como el agua subterránea se mueve hacia las zonas bajas y con el tiempo integran el escurrimiento total de un río para fluir hacia los océanos (cuenca exorréica) o a un lago (cuenca endorréica).

## 2.2 LAGUNAS COSTERAS

Las lagunas costeras son cuerpos de agua de mar acumulado en una depresión de la zona costera con profundidades menores a los 50 m, que mantiene comunicación con el mar abierto a través de uno o varios canales y que está protegida por una porción de tierra

emergida con forma, composición y origen variado. Los ambientes lagunares actuales se han originado a partir de la elevación del nivel del mar, ocurrida desde hace aproximadamente 18 mil años antes del presente (A. P.) y que alcanzó una relativa estabilización hace 5 mil años. A partir de entonces, la variación del nivel del mar ha sido de + 5 m. La elevación del nivel del mar en el presente siglo, de manera global, varía entre 1.0 y 1.5 mm/año, sin considerar la aparición de fenómenos nuevos que seguramente influirán en este proceso, como el incremento del gas CO<sub>2</sub> en la atmósfera y el aumento en la temperatura del clima mundial.

Las lagunas son ecosistemas físicamente controlados, poco homeostáticos y vulnerables a las modificaciones ambientales derivadas de la actividad del hombre (Álvarez y Gaitán, 1994).

La temperatura y la salinidad son particularmente importantes porque ayudan a identificar masas de agua y porque son los parámetros que determinan la densidad, que es muy importante en la dinámica del sistema. El valor de la temperatura como tal no es determinante en la dinámica de una laguna costera, sino que son las diferencias de densidad las que provocan cambios en el movimiento y flujos en el estrato inferior o superior de una laguna costera. La densidad es afectada por la temperatura de manera inversa, esto es, a mayor temperatura menor densidad (Pedlosky 1.979, Aldeco y Salas 1994).

Pedlosky (1979) y Margalef (1983) mencionan que la estratificación térmica es una separación vertical en dos o más capas de agua que componen la laguna costera, en donde las superiores normalmente tienen mayor temperatura que las inferiores. La separación existente entre capas o interfase consiste en una termoclina muy marcada; esto es, una zona de cambio de temperatura relativamente fuerte.

En lagunas costeras donde no hay aportes de ríos y donde la mezcla turbulenta, no por difusión, es considerable, no se forma una estratificación térmica. En las lagunas con una dinámica suave, la insolación puede causar la separación en un estrato o capa superior con una densidad menor, la formación de una termoclina y un estrato inferior con una densidad mayor. Las dos capas separadas responderán en forma diferente a un mismo forzamiento; el efecto del viento puede causar mezcla en el estrato superior y dejar en reposo al inferior (Álvarez, 1994).

### 2.3 DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

En el sistema de la laguna hay una interacción entre la atmósfera, el cuerpo de agua y los sedimentos, como se muestra en la Figura 2.2.

Antes que nada, el cuerpo de agua lleva a cabo una interacción importante con la atmósfera que representa una fuente de carbono, oxígeno, nitrógeno y luz solar, los cuales son elementos esenciales para que el cuerpo de agua sea productivo (Banderas, 2000).

El cuerpo de agua recibe aportes fluviales que contienen materia orgánica como: sólidos suspendidos y disueltos, compuestos de nitrógeno, fósforo, carbono, silicio, entre otros. Los sólidos orgánicos con densidad mayor a la del agua (sólidos sedimentables), dan un aporte a los sedimentos, los cuales van a ser biodegradados por los microorganismos presentes en él (Ortiz, 2005).

Los nutrientes aportados al cuerpo de agua pasan por diferentes etapas según el tipo de agua, dulce o salina, en ambas quedan suspendidos. En el agua dulce se disuelven, son remineralizados o se sedimentan al cabo de cierto tiempo. En el agua salina son parcialmente remineralizados, floculados y sedimentados; en el fondo son también remineralizados pero más lentamente. Estos también son utilizados directamente para la producción primaria llevada a cabo por el fitoplancton y por el macrofitobentos que generan materia orgánica por la fijación del carbono. Esta es utilizada por los productores secundarios y finalmente por organismos descomponedores que transforman la materia orgánica hasta dióxido de carbono, amoníaco y fosfatos, los cuales volverán a ser utilizados por los productores primarios dando continuidad al ciclo trófico del sistema (Contreras, 1993).

Por otro lado, los microorganismos heterótrofos y detritívoros llevan a cabo la diagénesis de la carga orgánica sedimentada o desechos de los organismos lo que también genera elementos útiles para el crecimiento fitoplanctónico.



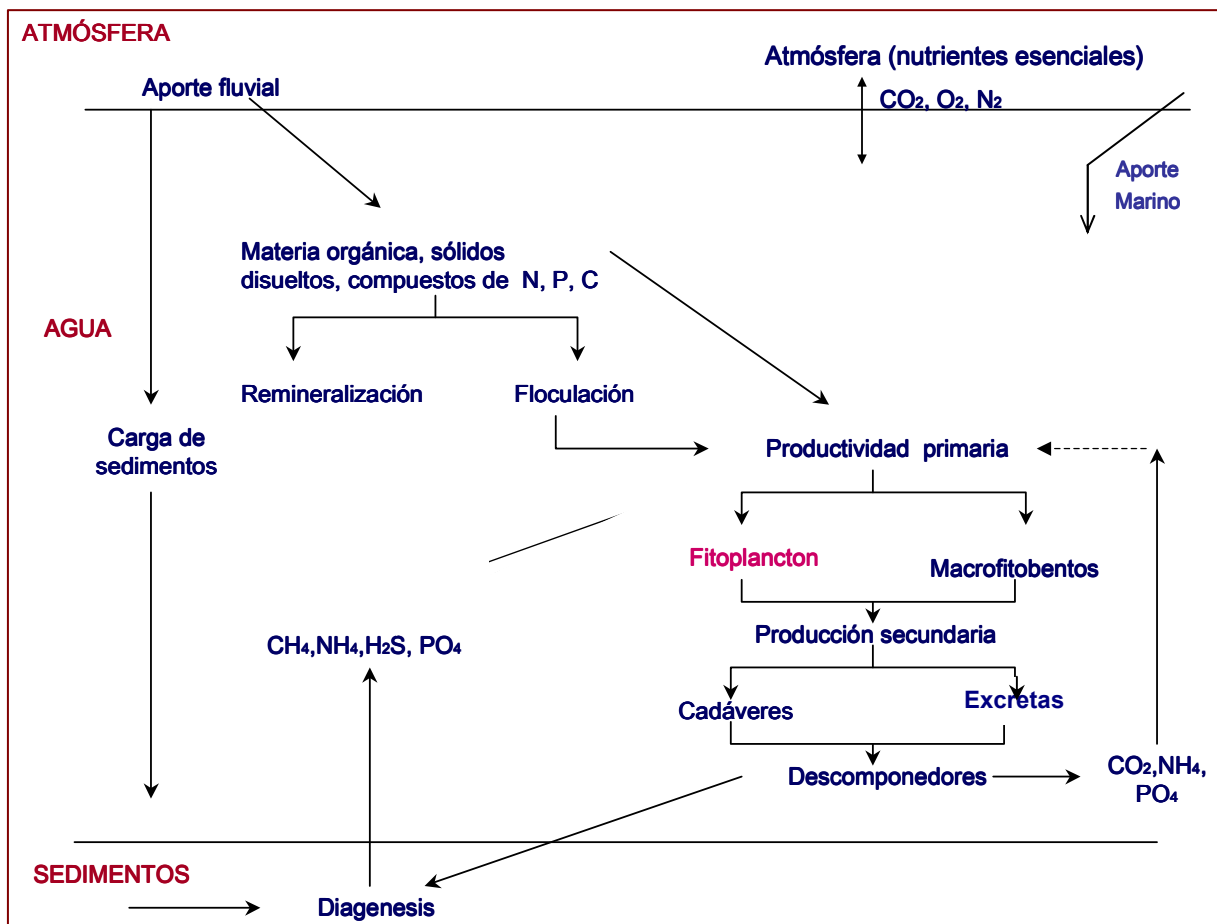


Figura 2.2 Interacción entre el agua, la atmósfera y los sedimentos (Banderas, 2000).

### 2.3.1. Mineralización de nutrientes

La transformación de elementos inorgánicos a compuestos orgánicos, la subsecuente liberación de elementos para convertirse en compuestos inorgánicos y la reutilización ocurren en el medio acuático (Wetzel, 1981).

La remineralización del carbono orgánico, el nitrógeno, el azufre, el fósforo y otros compuestos, se hace por medio de ciclos biogeoquímicos, los cuales están determinados en parte por la carga externa del ecosistema lacustre y en parte por los materiales producidos

en el cuerpo de agua, por los ingresos masivos desde la cuenca de drenado y por la carga externa de nutrientes que es decisiva para la productividad del ecosistema acuático, dentro de los límites que le imponen las condiciones físicas como el clima, la salinidad, el tiempo de residencia, entre otros. para distintas áreas en diferentes latitudes (Banderas, 2000). Un incremento de producción implica una disminución de oxígeno, lo que a su vez genera una liberación de nutrientes a partir de los sedimentos. Esta provisión de nutrientes al ecosistema lacustre constituye la carga interna (Wetzel 1981, Ortiz 2005).

Los **ciclos biogeoquímicos** más importantes son: el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno, el ciclo del fósforo y el ciclo del azufre

### **2.3.1.1 CICLO DEL CARBONO**

De acuerdo con Wetzel (1981) el dióxido de carbono de la atmósfera (o disuelto en el agua) es la fuente principal de carbono en la naturaleza, en donde las algas y macrófitos sumergidos requieren para la síntesis de materia orgánica una cantidad de carbono abundante y fácilmente accesible para mantener su crecimiento. Son los agentes fijadores más importantes de este compuesto, aunque existen algunas bacterias autótrofas que también son capaces de sintetizar la materia orgánica a partir de carbono inorgánico (GCBB, 2005).

La transformación del  $\text{CO}_2$  en el ecosistema (Figura 2.3), sigue los siguientes pasos:

- 1.- Fijación del  $\text{CO}_2$  por el fitoplancton y algunos microorganismos heterótrofos para transformarlo en carbohidratos y otras sustancias orgánicas.

- 2.- Los cadáveres de plantas y animales se depositan en el sedimento. Los compuestos orgánicos del carbono derivados del suelo son degradados por la actividad microbiana que produce gran variedad de productos finales y la oxidación completa a dióxido de carbono y agua.

- 3.- El  $\text{CO}_2$  liberado por la respiración y fotorrespiración puede ser disuelto en el sistema para ser fijado por los productores primarios, o bien, se desprende a la atmósfera.

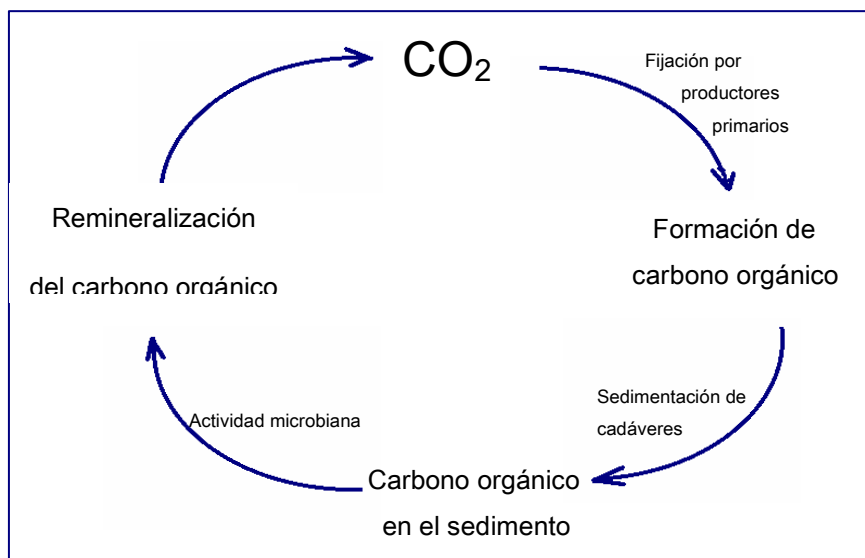


Figura 2.3 Ciclo del Carbono (Moeller, 2000)

### 2.3.1.2 CICLO DEL NITRÓGENO.

En los suelos, la fijación bacteriana del nitrógeno molecular ( $N_2$ ) constituye una de las fuentes principales de compuestos de nitrógeno; no obstante, en los cuerpos de agua, la fijación de  $N_2$  por las bacterias y por ciertas cianofíceas tiene una importancia cuantitativa inferior, excepto cuando se presenta un agotamiento severo de compuestos inorgánicos de nitrógeno en la zona trofógena. Las transformaciones en las que participan los microorganismos oscilan desde el gas nitrógeno hasta proteínas (Figura 2.4). Para que ocurran estos cambios se efectúan muchas reacciones enzimáticas complejas y se producen muchas sustancias intermedias.

Proteólisis. El nitrógeno en las plantas está encerrado en las células y no se halla disponible como alimento. Para que este nitrógeno orgánico quede libre para ser usado, el primer proceso que debe ocurrir es la hidrólisis enzimática de las proteínas (proteólisis). Ésta es efectuada por microorganismos capaces de elaborar proteínas extracelulares que transforman las proteínas en unidades más pequeñas (péptidos) que son atacadas posteriormente por peptidasas, dando como productos finales la liberación de aminoácidos individuales. El alcance de la reacción se resume como sigue:



Amonificación (degradación de aminoácidos). Aunque los microorganismos presentan muchas variantes en la desaminación, uno de los productos finales siempre es el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ). Muchos microorganismos desaminan aminoácidos. La producción de amoniaco se conoce como amonificación. El destino del amoniaco es variable, si se solubiliza, se forma  $\text{NH}_4$ . Algunas de las posibilidades subsiguientes son su acumulación y utilización por las plantas y microorganismos. Estos últimos bajo condiciones favorables, lo oxidan a nitratos.

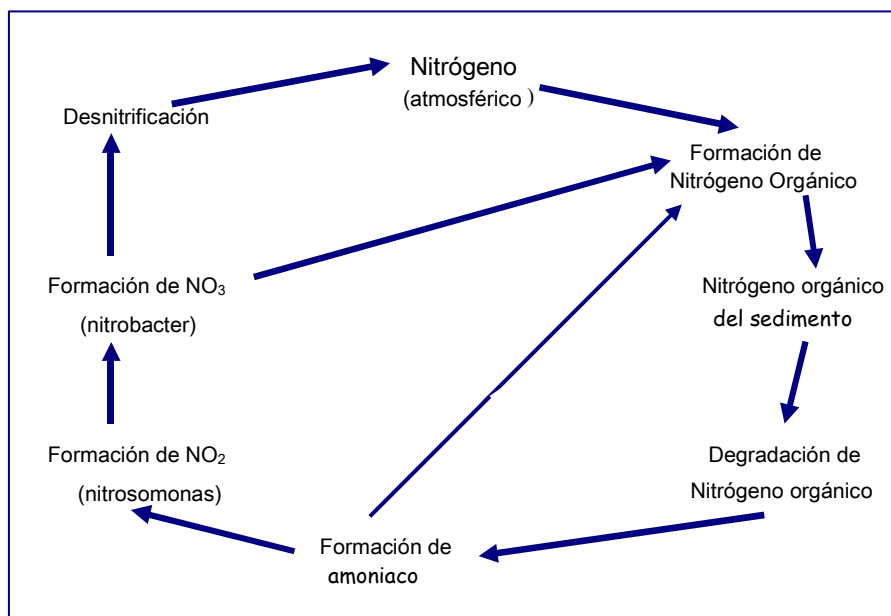


Figura 2.4 Ciclo del nitrógeno (Moeller, 2000)

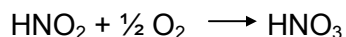
Nitrificación (oxidación del amoniaco a nitratos). Es una de las actividades más importantes de algunas bacterias autótrofas. Las reacciones de oxidación proporcionan a estos microorganismos la energía que requieren para sus procesos celulares. La nitrificación la efectúan bacterias específicas en dos pasos:

1. Oxidación de amoniaco a nitritos por *Nitrosomonas*:

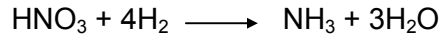


En condiciones anaeróbicas aquí se detiene el proceso y el Nitrógeno orgánico es liberado como amoniaco y nitritos. Si hay suficiente oxígeno disponible, entonces ocurre la siguiente reacción:

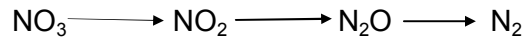
2. Oxidación de nitritos a nitratos por *Nitrobacter*:



Reducción de nitratos a amoníaco. Varias bacterias heterótrofas son capaces de convertir nitratos a nitritos o a amoníaco. El oxígeno de los nitratos sirve como aceptor de electrones e hidrógeno. En el proceso participan varias reacciones y el resultado es:



Desnitrificación. Se produce por la actividad de microorganismos que, en condiciones de anaerobiosis, son capaces de utilizar  $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$  como aceptores finales de electrones en procesos de respiración anaerobia. Los procesos finales son diferentes estados de oxidación de nitrógeno ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ) dependiendo de la disponibilidad de materia orgánica, de la concentración de nitratos y del pH del medio (GCBB, 2005). Algunos de los microorganismos relacionados en esta reacción son *Thiobacillus denitrificans* (autótrofo), *Micrococcus denitrificans* (heterótrofo) y algunas especies de los heterótrofos más comunes de los géneros *Serratia*, *Pseudomonas* y *Achromobacter* (Moeller, 2000). Las reacciones que intervienen en la desnitrificación se resumen como sigue:



Fijación del nitrógeno ( $\text{N}_2$ ). Es realizada por las algas (*Cianofitas* con heterocisto y algunas diatomeas) y por las bacterias. (Wetzel, 1981)

### 2.3.1.3 CICLO DEL FÓSFORO

El interés ecológico del fósforo proviene de su importante papel en el metabolismo biológico y de su relativa escasez en la hidrósfera, por lo que normalmente actúa como limitante de la productividad biológica (Pérez, 1999)

Las pérdidas de las fracciones de fósforo coloidal en el agua, son reemplazadas por la regeneración de fracciones de fósforo solubilizadas por la descomposición en profundidad, por la liberación del fósforo de los sedimentos y por el fósforo contenido en los afluentes que desembocan en el cuerpo de agua. En el caso de las lagunas costeras un afluente importante lo constituye el ingreso de agua de mar (De La Lanza, 1994).

El ingreso de fósforo en los cuerpos de agua ha aumentado de manera notable en los últimos tiempos a consecuencia del uso creciente por el hombre, y de la recuperación ineficaz, del fósforo para abonos agrícolas, con fines industriales o en detergentes, productos

de uso doméstico y en los desechos orgánicos (Ortíz, 2005). La reducción de las entradas de fósforo en muchos ecosistemas acuáticos productivos provoca la reducción cuantitativa del ciclo del fósforo y un decremento relativamente rápido de la capacidad productiva del sistema (Wetzel, 2001).

La única forma inorgánica significativamente importante del fósforo es el ortofosfato ( $\text{PO}_4^{\ominus}$ ); (Figura 2.5). Más del 90% del fósforo del agua de los ecosistemas acuáticos está en forma de fosfatos orgánicos y como constituyente celular de la materia viva particulada, o asociado de diversas formas con partículas orgánicas muertas y materiales inorgánicos (De La Lanza, 1994).

Los cuerpos de agua ricos en materia orgánica tienden a mostrar concentraciones más altas de fósforo.

Un factor importante en el ciclo del fósforo de las aguas naturales es el intercambio de fósforo entre los sedimentos y el agua inmediatamente superior a ellos. Su importancia radica en un movimiento neto del fósforo hacia los sedimentos en la mayoría de los cuerpos de agua. La eficiencia de la inmovilización de fósforo en los sedimentos y la rapidez de los procesos que regeneran el fósforo del agua están relacionados con una serie de factores físicos, químicos y metabólicos (Wetzel, 1981)

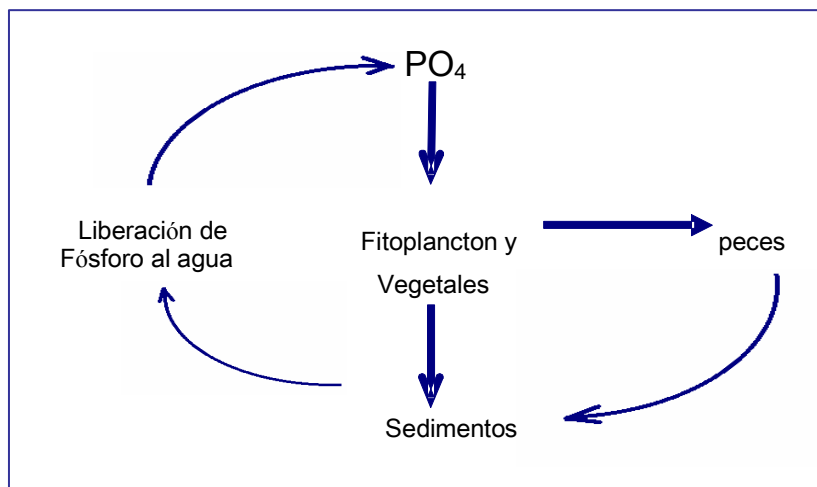


Figura 2.5 Ciclo del fósforo (Moeller, 2000)

Los factores determinantes son la capacidad de los sedimentos para retener el fósforo, las condiciones del agua situada sobre ellos y los seres vivos de los sedimentos, que alteran el equilibrio de intercambio retornando el fósforo al agua (Pérez, 1999).

Los cambios a través de la interfase sedimento-agua están regulados por mecanismos asociados con los equilibrios de minerales-agua, procesos de adsorción, interacciones del potencial redox dependientes de la cantidad de oxígeno y las actividades de las bacterias, hongos, plancton e invertebrados (Margalef, 1983).

La degradación microbiana de las partículas de materia orgánica muerta que se sedimenta y en los sedimentos, es el proceso principal de consumo de oxígeno en las aguas profundas de los cuerpos de agua (GCBB, 2005).

Las algas que crecen sobre los sedimentos pueden utilizar eficientemente el fósforo de éstos (Sánchez-Carrillo, 2001). Además, las algas en suspensión en el agua, con diversos compuestos inorgánicos particulados de solubilidad extremadamente baja, son capaces de extraer suficiente fósforo para crecer activamente (Santoyo, 1994).

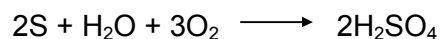
La mayoría del fósforo liberado al agua durante el crecimiento activo de las algas es fosfato inorgánico soluble que, por su parte, es reciclado rápidamente. Durante la lisis y la descomposición la mayor parte del fósforo algal se halla en forma orgánica y es degradado por las bacterias. Son las bacterias las que actúan como mediadoras en la degradación del fósforo orgánico disuelto a fósforo inorgánico disuelto (Wetzel, 1981).

#### 2.3.1.4 CICLO DEL AZUFRE

Unas especies de bacterias oxidan y otras reducen los compuestos del azufre. La transformación del azufre por los microorganismos tiene su equivalencia en la transformación del nitrógeno por los microorganismos.

El ciclo del azufre (Figura 2.6) comprende varios tipos de reacciones redox desarrolladas por microorganismos (Moeller 2000, GCBB 2005):

1.- El azufre en su forma elemental no puede ser utilizado por las plantas o animales. Ciertas bacterias, sin embargo, son capaces de oxidar el azufre y convertirlo en sulfato. El ejemplo clásico es *Thiobacillus thiooxidans*, microorganismo autótrofo, y la reacción es:



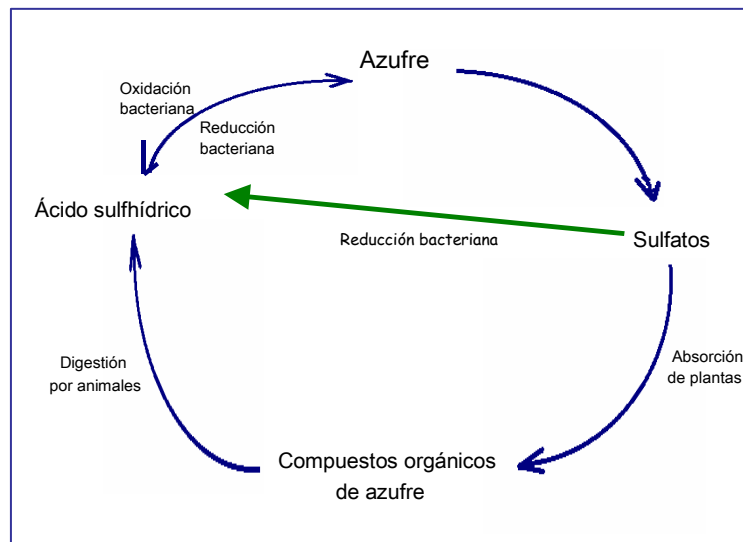
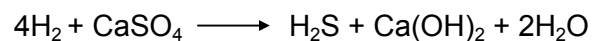


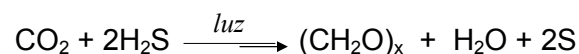
Figura 2.6. Ciclo del azufre (Moeller, 2000)

2.- Los sulfatos son asimilados por las plantas e incorporados a aminoácidos que contienen azufre, y después a proteínas. La degradación de las proteínas (proteólisis) libera aminoácidos, algunos de los cuales contienen azufre. Este azufre es liberado de los aminoácidos por acción enzimática de muchas bacterias heterótrofas (Moeller, 2000).

3.- Los sulfatos también son reducidos a ácido sulfhídrico por los microorganismos anaerobios del suelo y agua. Un ejemplo de las bacterias que realizan este proceso es el género *Desulfotomaculum*, y la reacción es:



4.- El ácido sulfhídrico resultante de la reacción del sulfato y de la descomposición de los aminoácidos es oxidado hasta azufre elemental. Esta reacción es característica de ciertas bacterias pigmentadas (fotosintéticas) y se expresa como:





## 2.4 PLANCTON

En todos los hábitats acuáticos habitan pequeñas células fotosintéticas y diminutos animales en suspensión formando el *plancton*. Las algas planctónicas y las cianobacterias, o *fitoplancton*, son el principio de la cadena trófica para la mayoría de los organismos heterótrofos que viven en la columna de agua de los ecosistemas acuáticos. Normalmente el fitoplancton está compuesto de células únicas, algunas son de apariencia bastante simple, mientras que otras tienen formas intrincadas o singulares y a veces se unen formando colonias o filamentos (Contreras, 1993).

Los miembros más pequeños del fitoplancton (nanoplancton), son tan pequeños que normalmente atraviesan la malla de la red de plancton, que tiene una retícula de 40 a 76 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). El nanoplancton incluye algas así como cianobacterias que también contribuyen de manera importante a la producción primaria que se da en las aguas dulces y marinas.

El plancton heterótrofo –*zooplancton*– que en éste trabajo no es materia de estudio, consta mayoritariamente de crustáceos diminutos, de larvas de animales de muy diferentes phyla, de muchos protistas heterótrofos y de bacterias. En el mar, los peces pequeños y algunos grandes, así como la mayoría de las grandes ballenas, se alimentan de fitoplancton y de zooplancton. Los peces más grandes se alimentan a su vez de los peces más pequeños. De este modo, "la gran pradera marina", como a menudo se denomina al fitoplancton, actúa como fuente de nutrientes para los organismos heterótrofos (Raven, 1991).

## 2.5 FITOPLANCTON.

El fitoplancton constituye la base de toda la cadena alimenticia en los ecosistemas acuáticos. Son los productores primarios de nutrientes, con él se sustentan animales microscópicos que, a su vez, son devorados por animales mayores.

Las microalgas de las aguas libres de los lagos, lagunas y grandes ríos constituyen el fitoplancton, el cual está compuesto por un conjunto diverso de organismos pertenecientes a la mayoría de los principales grupos taxonómicos.

Las diatomeas tienen una extraordinaria importancia como alimento en el fitoplancton. Constituyen la principal fuente de alimentos de los animales acuáticos, tanto en hábitat de agua dulce como de agua marina (Raven, 1991).

Como la mayoría de los vegetales, casi todas las algas contienen clorofila, la sustancia verde que les permite fabricar su propio alimento. Pero, a diferencia de las plantas más comunes de campos y bosques, las algas no producen flores ni semillas.

Algunos factores ambientales interaccionan para regular el crecimiento temporal y espacial del fitoplancton. Aparte de los requerimientos fisiológicos básicos como la luz y la temperatura, y de acuerdo con las posibilidades existentes dentro de una zona fótica lo suficientemente amplia como para completar el crecimiento y la reproducción, existen diversos nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos, derivados de los ciclos biogeoquímicos descritos en las secciones anteriores, que juegan un papel crítico en la sucesión de las poblaciones algales.

Cuando se introducen nutrientes en aguas de escasa fertilidad, cuyo contenido en nutrientes limita el desarrollo del fitoplancton incrementa la tasa de producción algal. La densidad creciente de la población fitoplanctónica reduce progresivamente la luz disponible y la profundidad de la zona fótica. Inmediatamente se alcanza un punto en el cual la propia sombra inhibe cualquier incremento de la productividad, aunque haya un exceso de nutrientes disponible. La eficiencia máxima de la utilización fotosintética de la luz se reduce hasta menos del uno por ciento de la radiación incidente sobre el agua, y considerablemente menos que su utilización potencial en los sistemas terrestres (Wetzel, 1981).

### **2.5.1 Composición del fitoplancton.**

La dinámica de un sistema lagunar determina la ausencia o presencia de poblaciones fitoplanctónicas cuyas adaptaciones, obtenidas por procesos evolutivos, responden con eficiencia a las condiciones imperantes en el medio acuático (Santoyo, 1994)

La composición de la comunidad fitoplanctónica, de acuerdo a los estudios realizados en las lagunas costeras de México, presenta asimetrías de cierta magnitud.

La flora fitoplanctónica predominante de éstos ambientes acuáticos son las diatomeas, que integran alrededor del 90% de la comunidad. Los géneros de diatomeas que se registran con mayor frecuencia en las lagunas costeras de México son:

<i>Coscinodiscus</i>	<i>Eucampia</i>
<i>Rhizosolenia</i>	<i>Thalassionema</i>
<i>Skeletonema</i>	<i>Guinardia</i>
<i>Leptocylindrus</i>	<i>Ditylum</i>
<i>Asterionellopsis</i>	<i>Viddulphia</i>
<i>Thalassiosira</i>	

**Nota:** Estos géneros se encuentran en zonas que tienen influencia marina (Dawes, 1986)

En determinados momentos, las *Cianofitas* son el grupo protagónico de la comunidad fitoplánctica en virtud de que llegan a florecer al grado de presentar concentraciones del orden de  $2.2 - 5.6 \times 10^6$  cél/l durante el otoño y el invierno respectivamente. Llegan a constituir hasta el 97.8 % de la comunidad.

Este grupo se desarrolla en zonas que tienen baja dinámica y elevado aporte de nutrimentos y profundidades bajas (Santoyo, 1994).

Margalef (1983), afirma que, se encuentran numerosas *Cianofitas* tanto en plancton como en el bentos, con especies que tienen una valencia ecológica amplia y que se ha de interpretar como que las lagunas costeras ofrecen condiciones de vida difíciles en las cuales compiten ventajosamente.

La salinidad es un factor determinante en la distribución de los grupos fitopláncticos en las lagunas costeras, de acuerdo con la halotolerancia diferencial de los componentes específicos de cada grupo. En la Tabla 5.1 se muestra la regionalización con base en la concentración salina y en la abundancia relativa de los diferentes grupos fitopláncticos para cada una de las zonas halinas (Santoyo, 1994).

Cuadro 2.1. Frecuencia relativa de los grupos fitoplanctónicos en las lagunas costeras, de acuerdo con los ambientes salinos.

GRUPO	Euhalino (30-40‰)	Polihalino (18-30‰)	Mesohalina (3-18‰)	Limnético (< 3‰)
Cianofitas	B	M	M-A	A
Euglonofitas	B	B	M	A
Clorofitas	A	A	A	A
Cocolitofóridas	A	M	B	B
Dinoflageladas	A	B	B	B
Diatomeas	A	M	M	M

Frecuencia: A: abundante  
M: media  
B: baja

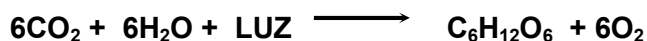
La estrategia de adaptación de las diversas especies del fitoplancton de las lagunas costeras es elevar su tasa de reproducción, ya que tienen ciclo de vida rápidos, por lo que absorben velozmente nutrientes. De ésta manera, mantienen su persistencia cuando las condiciones son altamente variables en escalas de tiempo pequeñas (Wetzel, 2001).

Otras especies siguen otra estrategia, en las que se desarrollan en ambientes con mayor grado de estabilidad, aproximándose al nivel de la capacidad de carga del medio, lo cual se traduce en un uso eficiente de los recursos, ampliando con esto su capacidad competitiva. Estas canalizan los recursos a actividades que maximizan la supervivencia de los individuos, como el desarrollo de habilidades para almacenar reservas y adaptaciones que reducen la mortalidad (aumento de la talla, producción de toxinas, desarrollo de simbiosis, etc.) (Dawes, 1986).

## 2.6 FOTOSÍNTESIS.

La fotosíntesis es uno de los procesos metabólicos de los que se valen las células para obtener energía, éste proceso se lleva a cabo en el cloroplasto que está rodeado por una doble membrana (Goldman 1965, Hernández 2002)

Por medio de éste proceso los seres vivos poseedores de clorofila y otros pigmentos captan energía luminosa procedente del sol y la transforman en energía química (ATP) y en compuestos reductores (NADPH); con ellos transforman el agua y el CO<sub>2</sub> en compuestos orgánicos reducidos (glucosa y otros), liberando oxígeno:



La energía captada en la fotosíntesis y el poder reductor adquirido en el proceso hacen posible la reducción y la asimilación de los bioelementos necesarios, como nitrógeno y azufre, además de carbono, para formar materia viva (Hernández, 2002).

Por esto, la mayoría de los vegetales fotosintéticos se caracterizan porque:

- a) Utilizan la energía radiante por medio de la clorofila para fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico, reduciéndolo para producir azúcares.
- b) Emplean el agua como fuente de protones.

En la fotosíntesis se diferencian dos etapas, con dos tipos de reacciones:

- Fase luminosa: En ella se producen transferencias de electrones (en el tilacoide).
- Fase oscura: En ella se realiza la fijación de carbono (en el estroma).

### **2.6.1 Propiedades de la luz.**

Las longitudes de onda correspondientes al azul (420 nm) y al rojo (670 nm) son las más efectivas para efectuar el fenómeno de la fotosíntesis (la banda de absorción está en éstos intervalos), pero la luz debe ser absorbida por determinados pigmentos (sustancia que absorbe luz) para que sea efectiva y las longitudes de onda absorbidas varía según la especie (Marshall 1987, Hernández 2002).

La clorofila absorbe luz fuertemente en las dos regiones donde es mayor la eficiencia de la fotosíntesis, por lo tanto, la correlación entre el espectro de absorción de la clorofila y el espectro activo de la fotosíntesis nos asegura que éste pigmento es el mejor receptor.

La clorofila *a* es un complejo de porfirina-magnesio en el que los cuatro átomos de Nitrógeno centrales se hallan unidos por enlaces coordinados con el ión Mg<sup>+2</sup> para formar un complejo extremadamente estable (Dawes, 1986).

La fotosíntesis es más eficaz si la iluminación en lugar de ser continua es intermitente, algunas reacciones fotosintéticas pueden efectuarse en ausencia de luz (reacciones de la fase oscura) (Baer 1978, Fuentes y Massol 2002).

## 2.6.2 Proceso Fotosintético.

El proceso fotosintético se da en dos fases:

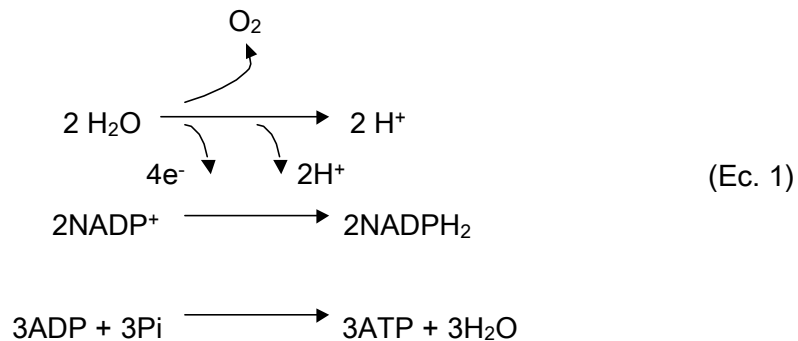
- 2.6.2.1 *Fase luminosa*. Depende de la luz. Se lleva a cabo la fotofosforilación.
- 2.6.2.2 *Fase oscura*. Es independiente de la luz. En ésta etapa se lleva a cabo la fijación del CO<sub>2</sub>.

### 2.6.2.1 Fase Luminosa

Los hechos que ocurren en la fase luminosa de la fotosíntesis se pueden resumir en los siguientes puntos:

#### 1. Fotólisis del agua

La fotólisis del agua es previa a la reducción del CO<sub>2</sub> atmosférico. En ésta primera etapa, los fotones capturados por la clorofila y otros pigmentos proporcionan energía para dividir dos moléculas de agua en una molécula de oxígeno, cuatro protones y cuatro electrones simultáneamente (Ecuación 1), los cuatro electrones y dos de los protones convierten dos moléculas de NADP<sup>+</sup> (Nicotinadeninucleótido fosfato) a su forma reducida al agregar fosfato inorgánico (Pi) al ADP, para formar ATP, que es una molécula que almacena más energía (Luengo, 1999).



#### 2. Síntesis de ATP o fotofosforilación puede ser de dos maneras:

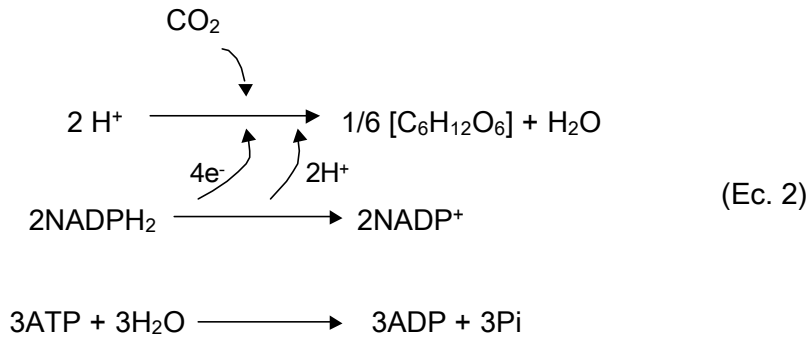
- Fotofosforilación no cíclica o abierta que origina ATP, NADPH<sub>2</sub> y desprendimiento de O<sub>2</sub> por fotólisis del agua.

- Fotofosforilación cíclica que permite el establecimiento de las condiciones en el cloroplasto para la formación de ATP a partir de los precursores ADP y fósforo inorgánico.

3. Síntesis de poder reductor NADPH

**2.6.2.2 Fase Oscura**

En ésta fase, la energía almacenada en el NADPH<sub>2</sub> y el ATP se extrae para convertir el CO<sub>2</sub> y el H<sup>+</sup> en glucosa y agua (Ecuación 2) (Luengo, 1999).



La mitad de protones y todos los electrones que se necesitan se obtienen a partir del NADPH<sub>2</sub>.

En la incorporación de CO<sub>2</sub> para formar carbohidratos no se requiere luz, ya que esta fase de la fotosíntesis, conocida como fase oscura, es un fenómeno bioquímico que depende, de manera indirecta, de la reacción fotoquímica, durante la cual se formaron el ATP y el NADPH<sub>2</sub>. Con estos cofactores se puede dar una síntesis de carbohidratos siempre que se provean las enzimas y sustratos esenciales, aún en ausencia del pigmento clorofílico (Sáenz, 2005).



### 2.6.3 Tasa Fotosintética

El crecimiento de las algas y las tasas de fotosíntesis están directamente relacionados con la intensidad cuantitativa de luz. Pero la respuesta a la intensidad de la luz es variable según la especie, muchas de ellas sufren adaptaciones a los cambios de intensidad de la luz (Wetzel, 2001).

Es común que las tasas de fotosíntesis de algunas algas varíen, a temperaturas altas, al aumentar el punto al cual se alcanza la saturación de luz.

Es frecuente observar una distribución vertical de la fotosíntesis en la cual se distingue una zona superior de tasas de fotosíntesis máxima, seguida de una zona de caída casi exponencial al aumentar la profundidad (Figura 2.7-A). Cuando la intensidad de la luz es mayor que la necesaria (mayor del rango requerido), se produce una fotoinhibición superficial (Figura 2.7-B). La profundidad a la cual se alcanzan las tasas máximas de fotosíntesis varía con las condiciones de transparencia del agua, cuando la densidad de fitoplancton aumenta mucho, puede reducirse en gran manera la profundidad de penetración de la luz y la zona trofógena (Figura 2.7-C).

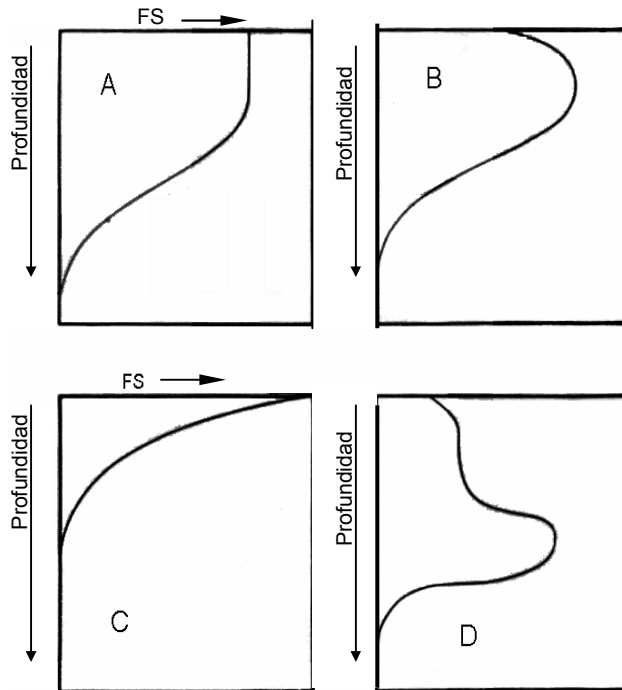


Figura 2.7. Variación de las tasas de fotosíntesis (FS) en el fitoplancton, generalizadas en perfiles verticales.

**A:** saturación de luz en aguas superficiales, sin inhibición, reforzada con la disminución de las tasas al reducirse la luz con la profundidad. **B:** efecto de la fotoinhibición superficial. **C:** tasas de fotosíntesis en condiciones de alta turbidez biogénea. **D:** máximo de fotosíntesis en el metalimnion (Wetzel, 1981).

Aunque en la superficie se produce realmente un efecto fotoinhibidor, éste puede quedar enmascarado por la rápida atenuación de la luz debida a la sombra de las densas



poblaciones de algas. En algunos casos, se desarrollan en abundancia las poblaciones de algas de las capas de agua más profundas, adaptadas a intensidades de luz relativamente bajas, alcanzando tasas de fotosíntesis incluso más altas que las del epilimnion (Figura 2.7-D).

#### **2.6.4 Factores que afectan la Tasa Fotosintética.**

Los factores hereditarios y ambientales afectan la tasa de la fotosíntesis. Diferentes especies de fitoplancton que crecen en el mismo medio ambiente, pueden tener tasas fotosintéticas bastante diferentes. Al mismo tiempo, la tasa fotosintética de una especie en particular varía mucho de acuerdo con las condiciones ambientales prevalecientes. Son particularmente importantes la intensidad luminosa, la calidad de la luz (longitud de onda), el bióxido de carbono, el agua, la temperatura y los factores que afectan el contenido en clorofila (tales como el pH).

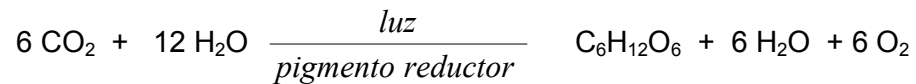
La intensidad luminosa es obviamente el factor limitante durante la noche, por la mañana temprano o al final de la tarde, y puede ser también un factor limitante en días muy nublados y en la sombra.

El bióxido de carbono es comúnmente un factor limitante en la fotosíntesis. En condiciones naturales, la temperatura es probablemente un factor limitante sólo en días muy fríos. A medida que la temperatura se eleva, se alcanza un punto en el cual la tasa de la respiración se eleva más rápidamente que la de la fotosíntesis.

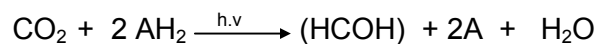
La fotosíntesis convierte la energía de la luz en energía química (carbohidratos), mientras que la respiración hace disponible esta energía química y de otros alimentos y permite el uso de dicha energía en varias formas útiles dentro del organismo. Los productos finales de la fotosíntesis (glucosa, oxígeno y agua) son las sustancias utilizadas en la respiración aerobia ordinaria, mientras que los productos finales de la respiración (bióxido de carbono y agua) son las sustancias utilizadas en la fotosíntesis (Saenz Peña, 2005).

## 2.7 PRODUCCIÓN PRIMARIA

La productividad fitoplanctónica representa la mayor síntesis de materia orgánica de los sistemas acuáticos (Wetzel, 2001), la cual puede ser simplificada en la ecuación universalmente conocida como:



Esta ecuación es una sobresimplificación de la compleja vía metabólica de fotosíntesis Calvin-Benson (Wetzel 1981, Marshall 1987) la cual es básicamente una reacción redox:



Donde  $\text{AH}_2$  representa un donador de hidrógeno que, aunque normalmente es el agua, puede ser algún compuesto de sulfuro reducido (por ejemplo  $\text{H}_2\text{S}$ ) o compuestos de carbono orgánico en el caso de las bacterias autótrofas. Especialmente en los grandes ecosistemas acuáticos, la productividad acostumbra a representar la aportación principal de materia orgánica y energía potencial que rige al sistema.

Los elementos químicos esenciales para la vida circulan en la biósfera, yendo desde el ambiente hacia el entorno de los organismos mediante vías y mecanismos que son controlados por la morfometría, tiempo de residencia, carga proveniente de la cuenca de drenaje y vertidos; y por la biomasa total, su actividad metabólica específica y la diversidad bioquímica de las poblaciones (Luengo, 1999).

Cerca del 40% de la producción primaria es canalizada inmediatamente a través del metabolismo bacteriano, que convierte la materia orgánica disuelta extracelular, producida por las algas autótrofas, en materia orgánica particulada, la cual queda nuevamente disponible para la cadena alimenticia (Wetzel, 1981).

En las lagunas costeras la producción primaria es un parámetro útil, ya que refleja en buena medida la tasa de fijación de carbono inorgánico y la tasa de absorción de los nutrimentos disponibles en el ambiente (Contreras, 1994).

La productividad del fitoplancton está en relación estrecha con la distribución de sus poblaciones, así como con la composición de la comunidad y con su estado fisiológico (Contreras, 1993). Por otra parte, habrán de considerarse los factores abióticos, los cuales determinan en gran medida el potencial productivo. En el caso del florecimiento de una o de pocas especies fitoplanctónicas, la producción es elevada y el índice de diversidad es mínimo o viceversa (Margalef, 1983, Santoyo, 1994).

El nanofitoplancton generalmente se encuentra en densidades elevadas, con baja diversidad y asociada a un gran potencial productivo. Se ha registrado que el nanofitoplancton proporciona alrededor del 75% de la productividad total en las lagunas costeras (Contreras, 1993).

La diferencia entre el nivel de productividad en las diferentes estaciones del año muestra que existen diversas vías de control de las condiciones ambientales sobre las comunidades fitopláncticas.

El ciclo de la productividad primaria presenta a lo largo del periodo de iluminación un incremento notable al inicio de la fase diurna, sin embargo, se puede presentar un fenómeno de fotoinhibición alrededor del medio día en el fitoplancton (Margalef, 1983).

Los procesos hidrodinámicos juegan un papel importante en la determinación de la composición, la estructura, la función y la persistencia de las poblaciones del fitoplancton.

En relación con la batimetría somera, rasgo típico de las lagunas costeras (Conde, 2002), la capa eufótica es de pequeño espesor y está supeditada a fluctuaciones periódicas y aperiódicas en lapsos breves de tiempo por la acción de agentes físicos como las mareas, los vientos, las turbulencias, entre otros, que actúan sobre la constitución de la comunidad del plancton vegetal (Sánchez, 2001). Bajo estas condiciones y circunstancias las especies acudirán a sus estrategias de sobrevivencia y, como se ha mostrado, la tasa reproductiva será el instrumento que determinará la persistencia de una especie sobre otra (Wetzel, 2001).

### 2.7.1 Factores que afectan la productividad primaria

Para poder fotosintetizar, el fitoplancton debe permanecer en la zona fótica; por ello, las estructuras para la flotación y los pigmentos accesorios son críticos. El nivel de los nutrientes no sólo varía estacionalmente sino también verticalmente. Niveles de nutrientes típicamente altos se encuentran a mayores profundidades dentro de la zona fótica. Así, la migración vertical, o sumersión, es común entre las comunidades del fitoplancton. Los factores que van a afectar el desarrollo del fitoplancton son: los nutrientes, la luz, la temperatura, el pastoreo, los ciclos estacionales y la sucesión (Dawes, 1986).

Nutrientes. El fósforo y el nitrógeno son elementos importantes para el crecimiento vegetal. Ambos están en concentraciones relativamente bajas en el cuerpo de agua; sin embargo, se observa un remarcable crecimiento del fitoplancton cuando éstos aumentan su concentración. Este crecimiento puede explicarse en parte por la rápida recirculación de nutrientes entre el fitoplancton unicelular.

Luz y temperatura. La temperatura del agua y la luz (incluyendo el foto periodo) muestra diferente intensidad cíclica estacional, siendo más contrastante en las latitudes altas y más tenues en los trópicos.

La temperatura es un factor importante, ya que afecta las actividades enzimáticas del fitoplancton y los organismos desintegradores. Cuando más rápida es la descomposición de las células, más rápida es la disponibilidad de los nutrientes, reduciendo la cantidad perdida debido a su sumersión en la zona afótica profunda de los cuerpos de agua.

En las zonas templadas del planeta la mayor insolación en el agua superficial en la primavera crea una termoclina más o menos estable dependiendo de la profundidad del agua, aislando así las aguas ricas en nutrientes en la zona fótica propiciando el florecimiento del fitoplancton durante esa estación. En verano y otoño, la zona fótica es explotada por el fitoplancton que agota los nutrientes. Las bajas temperaturas de invierno causan la interrupción de la termoclina y posteriormente una mezcla de las aguas profundas ricas en nutrientes con las aguas de la superficie pobres en dichos elementos (Margalef, 1983).

La luz es obviamente un factor importante, pero no puede correlacionarse fácilmente con los rápidos periodos de crecimiento del fitoplancton. La luz, junto con las mayores temperaturas del agua, inicia el florecimiento del fitoplancton (Fuentes, 2002). La cantidad de materia suspendida puede afectar notablemente la calidad y cantidad de luz que penetra el agua. Así, la zona litoral o nerítica puede tener sólo de la mitad a una cuarta parte de los niveles de luz cuando se comparan con las aguas de la zona profunda o pelágica a profundidades similares, debido a la vegetación acuática y a la suspensión de sedimentos por el oleaje (Contreras, 1993).

Pastoreo. En los lagos y lagunas que presentan un buen aporte de nutrientes las caídas drásticas en la densidad del fitoplancton (durante el verano de las zonas templadas), no se deben a un agotamiento de nutrientes, sino a un rápido aumento en el zooplancton, especialmente los anfípodos, por ello se presenta un pastoreo constante e intenso, con lo cual no refleja la productividad real.

Ciclos estacionales (estacionalidad). Como en muchas comunidades vegetales, puede esperarse que ocurran cambios estacionales en la composición de especies del fitoplancton, así como incrementos y decrementos en su biomasa. En los climas tropicales la estacionalidad está determinada por las temporadas de lluvia y estíos, y en menor medida por la temperatura, la cual permanece relativamente constante durante el año (Dawes, 1986).

## CAPITULO 3. AREA DE ESTUDIO

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La cuenca del sistema río La Sabana – laguna de Tres Palos pertenece a la región Hidrológica No. 19, ubicada en la Costa Chica de Guerrero. Su superficie es de 432 km<sup>2</sup> (399 km<sup>2</sup> hasta la estación hidrométrica Tunzingo). Dentro de la cuenca existen 47 poblados de los cuales el 87 % está considerado como comunidades rurales.

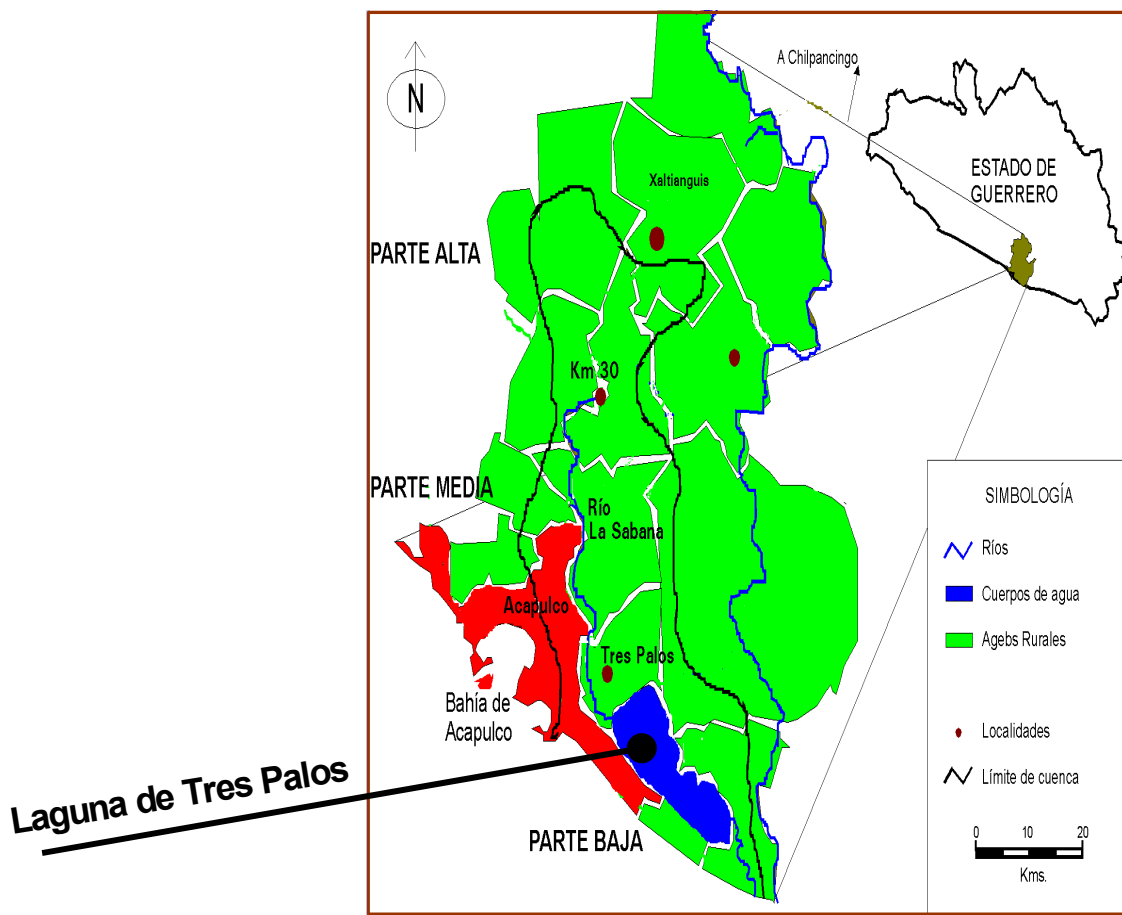


Figura 3.1. Mapa de ubicación de la laguna de Tres Palos (Banderas, 1997)

El nacimiento del Río La Sabana se localiza en la Sierra de Xaltianguis (Figura 3.1), como Arroyo Potrerillos, a 850 msnm y aproximadamente a 10 km al NW del poblado que da nombre a esta cadena montañosa. La corriente corre en dirección SE hasta el

cruce con la carretera México-Acapulco, donde cambia de curso hacia el SW (IMTA-CNA, 1997).

Aguas abajo, aproximadamente a 4 km, pasa por las inmediaciones del poblado El Cuarenta y cinco, recibiendo aportaciones de diversas corrientes perennes e intermitentes que drenan la parte alta de la cuenca, manteniendo su curso hacia el SW.

A 4 km aguas abajo, el arroyo pasa por las cercanías de la localidad de El Cuarenta. Aguas abajo el arroyo Potrerillos recibe por su margen derecho el caudal del arroyo Moyoapa que nace a 1 800 msnm, con un desarrollo de 20 km en dirección NW-SE. A partir de la confluencia de estos dos arroyos la corriente recibe el nombre de La Sabana, que después de un recorrido de 3 km cambia su curso hacia el sur.

Ya como río La Sabana, pasa por los siguientes poblados: El Treinta y cuatro, El Treinta, El Veintidos, El Veintiuno, Los Órganos y El Quemado. Después de un recorrido de 4 km el río llega a la zona de La Sabana (zona suburbana ubicada a 10 km al noreste de Acapulco), la cual se extiende 10 km a lo largo del río (Rojas, *et al.*, 1997).

A partir de esta zona, en la colonia Barrio Nuevo, el ancho de la sección transversal es de 100 a 120 m con cauce arenoso y márgenes con vegetación. Existen también playones de arena, que se aprovecha para la construcción. Este paisaje domina a lo largo de unos 800 m hasta donde se unen Barrio Nuevo y la colonia La Venta. A partir de éste punto, el río muestra un cauce y márgenes más estables con grandes zonas de pastizales (en una longitud aproximada de 1 200 m) y aunque el ancho de la sección en este tramo está entre los 120 a 150 m, durante la época de estiaje el río ocupa solo una sección central, demostrando una estacionalidad marcada.

Las características de la corriente se mantienen hasta unos 300 m aguas arriba de su confluencia con el Arroyo Seco, a partir de donde vuelve a aparecer el fondo arenoso que es aprovechado en la extracción de materiales para la construcción (arena, grava y piedra bola). Esta actividad ha modificado la morfología del cauce, bajando su nivel y haciendo que afloren los pozos de agua perforados en las riveras.

Aproximadamente a 2.4 km aguas abajo de Barrio Nuevo, el río La Sabana recibe por su margen derecha el Arroyo Seco, el cual, convencionalmente, es el límite de las zonas norte y centro, y conduce las descargas de colonias como Vista Hermosa, Emperador Moctezuma, Ampliación Moctezuma, Insurgentes, etc.. Aguas abajo de la

confluencia del Arroyo Seco, se encuentra la colonia del mismo nombre y enseguida Ciudad Renacimiento.

A partir de aquí, el ancho de la sección del río se reduce a un promedio entre 80 y 100 m, aunque el fondo y las márgenes denotan una mayor estabilidad en cuanto al material que las constituye.

A 2.2 km del Arroyo Seco, el río La Sabana recibe también por su margen derecha las aportaciones del Arroyo de las Cruces, al que descarga la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Renacimiento, actualmente en operación. Aguas abajo de este arroyo existe un puente vehicular metálico (puente Renacimiento) para cruzar hacia la margen izquierda que comienza a poblarse con rapidez. Desde el puente vehicular de Ciudad Renacimiento hasta 2 km aguas abajo, el río cruza una zona urbana y pasa en la proximidad de la carretera Cayaco-Renacimiento.

En el siguiente tramo (2.6 km) hasta el puente Tunzingo, el río vuelve a presentar una sección transversal de 100 a 120 m de ancho, fondo arenoso y con playones e isletas de arena, vegetación exuberante constituida por cocoteros y tamarindos, entre otros. Desde el puente Tunzingo hasta 6 km aguas abajo, el río corre por una zona rural en ambos márgenes y cuenta con una vegetación similar a la mencionada anteriormente. En este sitio comienza la llamada zona de inundación, que en época de avenidas provoca que el río alimente a la Laguna Negra de Puerto Marqués. A 1200 m aguas abajo se encuentra el puente de la autopista México-Acapulco.

El tramo final (2.3 km) del río, es un delta constituido por una serie de corrientes y cauces alternos que desembocan en la Laguna de Tres Palos, que es el cuerpo receptor. Esta laguna tiene 16 km en su longitud máxima y 6 km de ancho máximo, su profundidad media es de 1.38 m, su superficie es de 67.767 km<sup>2</sup> y tiene un volumen promedio aproximado de 175 millones de metros cúbicos (Rojas *et al.*, 1997), con fuertes fluctuaciones estacionales y anuales.

La cuenca ha estado sometida en las últimas décadas a un crecimiento demográfico desordenado, originado principalmente por el desarrollo del Puerto de Acapulco. La tasa de inmigración a la cuenca del río la Sabana es de 20,000 personas al año por lo que la población fija se ha incrementado en un 1,558% en los últimos 10 años,



umentando la demanda de servicios como agua, suministros, agricultura y ganadería y drenajes. Esto trae como consecuencia descargas de aguas crudas y no tratadas que están deteriorando su hábitat y entorno ecológico drásticamente. Al tener como afluente al río, la laguna de Tres Palos viene acumulando una gran cantidad de materia orgánica que, dependiendo de la época, generan condiciones de anoxia en el fondo de prácticamente toda la laguna, aporte de nutrientes y crecimiento excesivo de algas, situaciones que afectan el hábitat natural (IMTA 1997 y 1998).

El desarrollo del cordón litoral y la elevación tectónica de la plataforma continental ha abatido el ingreso de agua marina a la laguna, lo que aunado al deterioro de la calidad del agua, está influyendo negativamente en las pesquerías. Banderas (1997) menciona que la laguna presenta anoxia estacional con niveles tan críticos que provoca la mortandad de peces.

El nivel del agua varía entre 1.25 a 2.03 m s.n.m., y en temporada de lluvias llega a inundar una parte de la zona circundante que incluye al aeropuerto internacional de Acapulco. En tales ocasiones, la boca del canal se abre por el empuje del agua (agosto-septiembre), o con la intervención de maquinaria. Cuando la evaporación disminuye demasiado el nivel de la laguna se abre la barra de manera artificial para permitir la entrada de especies marinas comerciales (Banderas, 1997).

### **3.2 PROBLEMÁTICA**

Las actividades humanas que generan problemas de contaminación, presentes en la Laguna de Tres Palos, se clasifican como sigue:

- ◇ Pesca lagunar y acuicultura
- ◇ Agricultura y deforestación
- ◇ Ganadería
- ◇ Turismo
- ◇ Navegación
- ◇ Urbanización
- ◇ Industrias

El deterioro del sistema está dada principalmente por los contaminantes que se arrojan al río, que es el cuerpo receptor, y de aquí son conducidos a la laguna, aunque existen descargas directas a la laguna y el canal intermareal provenientes de los poblados de Barra Vieja, El Salado y el aeropuerto internacional de Acapulco (López, 1997).

A continuación se definen algunos de los tipos de contaminantes arrojados al río La Sabana:

- ◇ Descargas de aguas negras (excretas - drenajes).
- ◇ Basura que la población desecha en el río (orgánica e inorgánica)
- ◇ Desperdicios y residuos de los poblados locales transportados por escurrimientos superficiales,
- ◇ Aguas grises, provenientes de las plantas de tratamiento.
- ◇ Animales muertos arrojados al cauce del río.
- ◇ Basura de las industrias y empresas.
- ◇ Residuos y aguas residuales provenientes de los drenajes agrícolas.
- ◇ Ecurrimientos provenientes de la cuenca.
- ◇ Descarga de rastros municipales (Ciudad Renacimiento).
- ◇ El llamado Arroyo Seco.

La conducción de las descargas municipales al cuerpo de agua introduce grandes cantidades de compuestos nitrogenados y fosforados que a la fecha no han podido controlarse.

Las consecuencias de la contaminación en la calidad del agua de la laguna son:

- a) La reducción de la transparencia debido a la excesiva descarga de nutrientes en los efluentes residuales y al escurrimiento agrícola que conduce a una floración algal.
- b) El decremento de oxígeno debido a los procesos de mineralización de los detritos orgánicos originados a partir de la biomasa algal sedimentada, lo que provoca una acumulación de compuestos de nitrógeno y fósforo que posteriormente incrementa la tasa de producción primaria en el cuerpo de agua (crecimiento algal).
- c) La formación de sulfuro de hidrógeno y metano debida a la disminución continua de oxígeno y a la descomposición anaeróbica de los detritos orgánicos.

- d) La presencia de microorganismos patógenos derivados de las heces fecales de hombres y animales.
- e) Deterioro recreacional o estético y de la calidad hídrica, además, provoca una elevada mortandad de peces y acelera la sucesión de la comunidad acuática

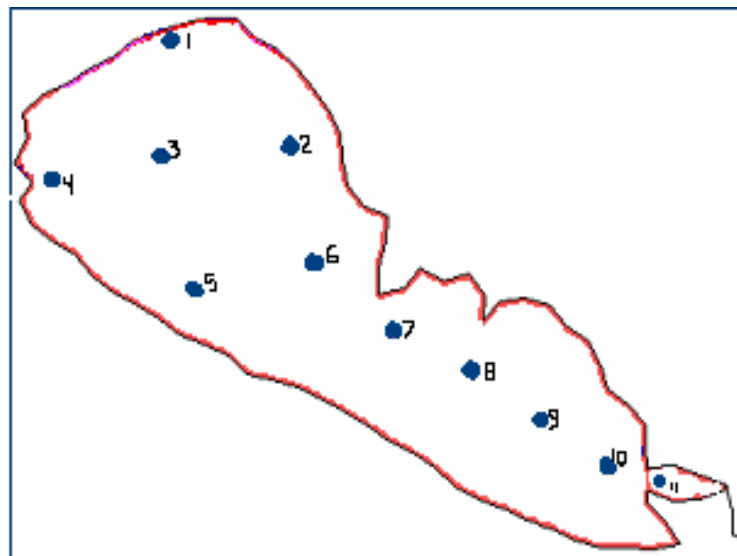
Barrera (1975), menciona que la laguna de Tres Palos está en estado eutrófico por el alto contenido de fitoplancton (400 organismos fitoplanctónicos/m<sup>3</sup>). Rojas *et al.* (1997) estimó que el sistema Río La Sabana-Laguna de Tres Palos está tan deteriorado que tiende a un estado hipertrófico, sin embargo, en este trabajo se da una descripción detallada de la dinámica del fitoplancton en la laguna conociendo los factores que los regulan para así poder contribuir con sugerencias para controlar la producción primaria en el sistema. Por otro lado se comprueba el estado trófico de la laguna de acuerdo con Contreras (1994).

## CAPITULO 4. METODOLOGÍA

### 4.1 OBTENCIÓN DE DATOS

Los datos de la calidad de agua utilizados para este estudio fueron proporcionados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que se obtuvieron en el año de 1997.

Para generar información complementaria el IMTA planteó siete campañas de muestreo durante 1997, ubicando once sitios de muestreo, incluyendo una estación en el canal (Figura 4.1) coincidiendo con los sitios de los estudios previos realizados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) en 1990 y 1996. Se tomaron muestras de superficie, fondo y sedimento en cada uno de los sitios establecidos en la laguna. Las muestras de agua se obtuvieron con una botella Van Dorn de 2 litros, dividiéndola en submuestras para evaluar clorofila *a*, coliformes totales y fecales, variables físico-químicas y productividad *in situ* mediante la evolución de oxígeno en botella clara y oscura.



16° 47' y 16° 49' N y  
99° 39' y 99° 47' W  
Longitud: 15 km  
Ancho 4.5 km  
Canal meándrico, aprox.  
de 10 km de longitud.

Figura 4.1. Sitios de muestreo en la Laguna de Tres Palos (IMTA-CNA, 1997)

Para el análisis de este estudio se utilizaron los datos de superficie y fondo sin ningún análisis estadístico, puesto que el sedimento es un subsistema que presenta una dinámica diferente, aunque se encuentra estrechamente vinculado como receptor de detritos y fuente importante de nutrientes, turbidez y sustancias tóxicas al agua.

Siguiendo los métodos analíticos descritos en el Standard Methods (APHA, 1992) las variables fisicoquímicas determinadas en las submuestras de agua en el laboratorio fueron: acidez, alcalinidad, cloruros, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), dureza total, dureza al calcio, sulfatos, fosfato, fósforo total, fósforo extractable, amoníaco, nitrato, nitrito, nitrógeno total, nitrógeno orgánico, grasas y aceites, demanda química de oxígeno (total y soluble).



Mientras que *in situ* se determinaron: profundidad, turbiedad, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y visibilidad del disco de Secchi.

Los parámetros meteorológicos como: temperatura del aire, lámina de evaporación, dirección del viento, velocidad del viento, temperatura máxima y mínima y temperatura ambiental; fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología coincidiendo con la fecha de la toma de muestras.

Se incluyeron los datos obtenidos en los estudios de 1990 y 1996 en la Laguna de Tres Palos sobre la calidad del agua, realizados por el Departamento de Calidad y Reutilización del Agua de la CNA.

## 4.2 DIVISIÓN DEL SISTEMA

Para llevar a cabo el análisis de los datos, en este estudio se dividió el sistema en compartimentos:

- Compartimento 1: Ecurrimiento en la cuenca  Río La Sabana
- Compartimento 2: Cuerpo de agua  Laguna de Tres Palos

Para disponer de los datos debidamente para el estudio computacional y así describir la dinámica productiva con respecto a los diferentes grupos de variables, se agruparon en subcompartimentos como se muestra en la Figura 4.2.

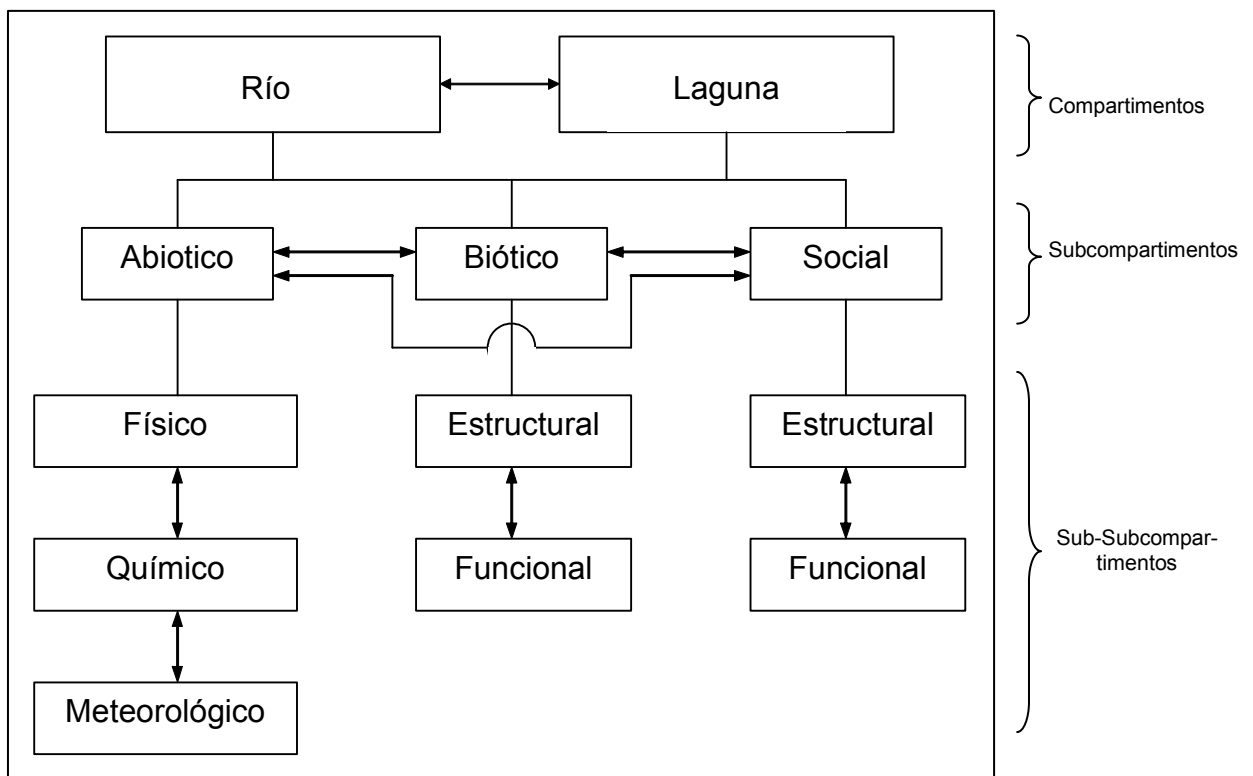


Figura 4.2. División del Sistema en compartimentos, subcompartimentos y sub-subcompartimentos.

### 4.3 PARÁMETROS ANALIZADOS

La división de los subcompartimentos se muestra a continuación, con las variables que los caracterizan y las abreviaturas con que se identificará a cada una de estas a lo largo del texto:

- El **subcompartimento Biótico** está dividido en dos subsubcompartimentos, el estructural y el funcional, cada uno de los cuales está caracterizado por las siguientes variables:

**- Subsubcompartimento Estructural**

Coliformes Totales (NMP/100ml)

Coliformes fecales (NMP/100ml)

Clorofila a (CLOROF\_A) mg/l

- **Subsubcompartimento Funcional**

Subcomunidad fitoplanctónica - (determinada en géneros)	Fotosíntesis Neta (FOT_N) mgC/m <sup>3</sup> .d
Productividad Primaria (PROD) mgC/m <sup>2</sup> .d	Fotosíntesis bruta (FOT_B) mgC/m <sup>3</sup> .d
Respiración (RESP) mgC/m <sup>3</sup> .d	Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO <sub>5</sub> ) mg/l

- El **subsubcompartimento Meteorológico** está caracterizado por las siguientes variables:

Temperatura del aire (T_AIRE) °C	Temperatura máxima (TEM MAX) °C
Lámina de evaporación (EVALAM) mm	Temperatura mínima (TEM MIN) °C
Dirección del viento (VTODIR) grados	Temperatura ambiental (TEMAMB) °C
Velocidad del viento (VTOVEL) m/s	

- El **subsubcompartimento Físico** está caracterizado por las siguientes variables (in situ):

Profundidad (PROF) m	Turbiedad (TURBIED) UHT
Visibilidad del disco de Secchi (Z_DISK) m	Temperatura del agua (T_AGUA) °C

El **subsubcompartimento Físicoquímico** está caracterizado por las siguientes variables:

Potencial de Hidrógeno (pH) ( <i>in situ</i> )	Fósforo total (PTOT) mg/l
Acidez (ACIDEZ) mg/l	Fósforo extractable (PEXT) mg/l
Alcalinidad (ALCALIN) mg/l-CaCO <sub>3</sub>	Amoníaco (NH <sub>4</sub> ) mg/l
Salinidad (SALIN) mg/l ( <i>in situ</i> )	Nitrato (NITRATO) mg/l
Coductividad (CONDUCT) µsm/cm ( <i>in situ</i> )	Nitrito (NITRITO) mg/l
Cloruros (CLORUROS) mg/l	Nitrógeno total (NITTOT) mg/l
Sólidos totales (SOL_TOT) mg/l	Nitrógeno orgánico (NITORG) mg/l
Sólidos suspendidos totales (SST) mg/l	Grasas y aceites (GRASAS) mg/l
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) mg/l	Oxígeno Disuelto (OD) mg/l ( <i>in situ</i> )
Dureza total (DZATOT) mg/l	Demanda química de oxígeno total (DQOTOT) mg/l
Dureza al calcio (DZACA) mg/l	Demanda química de oxígeno soluble (DQOSOL) (mg/l)
Sulfatos (SULFATOS) mg/l	
Fosfato (PO <sub>4</sub> ) mg/l	

Puede notarse el predominio de las variables fisicoquímicas en la base de datos, lo cual se debe al enfoque que han presentado los estudios para determinar la calidad del agua. Hasta muy recientemente se están considerando a las variables biológicas (y solamente la clorofila *a*) en la Red Nacional de Monitoreo de la calidad del agua que administra la CNA.

#### **4.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS.**

Los datos procedentes de los análisis efectuados por el IMTA en 1997 tanto de campo como de laboratorio, fueron capturados en una base de datos con el formato excel de Microsoft office, que permite intercambiar información con otros paquetes. De aquí, se importó a la hoja de trabajo (worksheet) del paquete STATISTICA de Stat Soft versión 5 (StatSoft, 1997).

Para la identificación y comprobación de las posibles relaciones entre los compartimentos descritos, en este estudio se aplicaron las siguientes pruebas estadísticas.

##### **4.4.1 Elaboración de una tabla de Estadística Descriptiva.**

La estadística descriptiva hace posible conocer la naturaleza de los datos, ya que se muestran éstos en una forma ordenada y simplificada (Daniel, 2002). Permite además, conocer los estadísticos básicos de las variables como son la media, el rango, la desviación estándar, entre otros, y permite realizar los histogramas y las pruebas necesarias de las variables para apreciar su apego a la normalidad.

Con el valor medio de la Clorofila *a* se conocerá el índice trófico (IT) de la laguna por medio de la ecuación planteada por Carlson (1977) y Contreras (1994):

$$IT = 10(6-24) - 0.68 \ln(\text{CLOROF\_A})/\ln 2$$

Una vez calculado el IT se compara con la siguiente tabla propuesta por Contreras (1994), de acuerdo al intervalo que corresponda será la categoría a la que pertenezca la laguna de Tres Palos.



Cuadro 4.1 Propuesta para el índice trófico aplicando valores de concentración de Clorofila *a* de ecosistemas acuáticos (Contreras, 1994).

Ampliación propuesta para los niveles tróficos				
Categorías	Intervalos en la conc. de CLOROF_A		Índice trófico	
Ultraoligotrófico	0.000	0.122	0	9
$\alpha$ -Oligotrófico	0.123	0.340	10	19
$\beta$ - Oligotrófico	0.350	0.940	20	29
$\gamma$ -Oligotrófico	0.950	2.600	30	39
$\alpha$ -Mesotrófico	2.700	7.200	40	49
$\beta$ - Mesotrófico	7.300	20.000	50	59
$\alpha$ -Eutrófico	21.000	55.000	60	69
$\beta$ - Eutrófico	56.000	155.000	70	79
$\gamma$ -Eutrófico	156.000	425.000	80	89
Hipereutrófico		> 426.000		> 90

Una vez que se tiene el cuadro de la estadística descriptiva, se realiza una matriz de correlación que permite conocer las variables que tienen alguna relación con las variables de criterio (FOT\_B, FOT\_N, RESP, CLOR\_A y PROD).

El paquete utilizado (STATISTICA, 1997) identifica automáticamente las correlaciones que tienen alguna influencia, esto es, las correlaciones que son significativamente diferentes de cero. Esto permite reducir el número de variables a utilizar en los análisis posteriores y aumentar la información extraída de los datos, eliminando ruido y robusteciendo las pruebas estadísticas.

#### 4.4.2 Regresión Múltiple

Las técnicas estadísticas han sido definidas con el propósito de analizar y describir formalmente a los ecosistemas (González, 1991).

El modelo lineal multivariado supone que el efecto de las variables es continuo, lineal y aditivo, lo cual representa una simplificación de la realidad (Johanson, 2000). Sin embargo, los métodos multivariados aplicados a estudios ecológicos permiten determinar qué variables son importantes, cuánto aportan a la variación total del ambiente y cómo interactúan entre sí para la generación de algún fenómeno, ofrece un resumen de la información y descubre, si existe, alguna estructura en la matriz de datos (Raynolds, 1984).

Una forma del modelo lineal multivariado es el Análisis de Regresión Múltiple. Este método ofrece funciones que permiten interpolar en el fenómeno bajo estudio, y estimar probabilísticamente la incertidumbre de una predicción, la cual depende del grado

de correlación que haya entre las variables predictoras (independiente) con la variable de criterio (dependiente) (StatSoft, 1997).

Los procedimientos de regresión pueden ser clasificados como estadísticos descriptivos. Sin embargo, los análisis de regresión son comúnmente desarrollados con una población de datos para los que se desea efectuar una generalización, es decir, estimar los parámetros poblacionales de la muestra (Daniel, 2002).

Este método generalmente se utiliza cuando se cuenta con dos o más variables predictoras (**X**) y se desea saber la influencia de todas ellas sobre una sola variable de criterio (**Y**). La regresión múltiple es útil para obtener lo siguiente:

- a) Una ecuación basada en el comportamiento de las **X**, que permita predecir mejor los valores de **Y**.
- b) Cuando hay muchas **X**, sirve para encontrar el subconjunto de variables que genera la mejor ecuación lineal.
- c) Obtener las variables que se encuentran relacionadas con **Y**, así como la ordenación categórica de las variables según su importancia a través del modelo siguiente (4.4.3.1), que define el plano de regresión poblacional.

$$Y_r = \alpha + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n + E_i \quad (4.4.2.1)$$

Donde:

**Y<sub>r</sub>** = Representa el valor promedio de la distribución de frecuencias de la variable de criterio para una  $X_1 + X_2 + \dots + X_n$  dada.

(**Y<sub>r</sub>** = CLOROF\_A, FOT\_B, FOT\_N, RESP y PROD)

**B<sub>1</sub>** = Mide el cambio promedio esperado en Y, cuando  $X_1$  aumenta una unidad, permaneciendo  $B_1, B_2, \dots, B_n$  constantes.

(**B<sub>1</sub>** = Coeficiente de regresión parcial para cada  $X_1$ )

**E<sub>1</sub>** = Error estadístico

Este modelo supone que los valores para cada  $X_1 + X_2 + \dots + X_n$ , dadas variarán en torno del plano de regresión en una distribución normal con media cero y varianza  $\sigma^2$ . ( $X_1 + X_2 + \dots + X_n$  = Variables meteorológicas, biológicas, físicas y fisicoquímicas)

Estos análisis proporcionan parte del modelo descriptivo de la laguna a través de los coeficientes de regresión, al ordenar jerárquicamente la importancia de las variables seleccionadas en la determinación de los procesos productivos, así como la obtención del

modelo matemático o predictivo de la clorofila a, mediante el plano de regresión poblacional ya mencionado.

Así mismo, el análisis de regresión es útil para efectuar pruebas de hipótesis acerca de los parámetros de la población cuando la relación entre las variables respectivas es lineal y significativa. Esta prueba permite la aplicación de procedimientos de inferencia estadística al determinar y estimar los límites de confianza en la prueba de hipótesis, ajustando la ecuación de regresión y probando a un coeficiente de regresión en específico.

Todas las pruebas estadísticas utilizan los procedimientos de inferencia para probar la hipótesis nula, que en general supone que los coeficientes de correlación múltiple y regresión son cero en la población. Cualquier valor mayor es debido a las fluctuaciones inherentes al muestreo o a los errores de medida. La prueba de hipótesis empleada en el análisis de regresión es la prueba de F, o relación de las varianzas.

Por otro lado, es posible probar la hipótesis nula de que cualquiera de los coeficientes de correlación parcial ( $\beta$ ) de la población, es igual a cero, por medio de la prueba de "t". Esta, es calculada por el mismo paquete para cada variable de criterio.

#### Coeficiente de Determinación Múltiple ( $R^2$ )

Daniel (2002) dice que la variación total presente en los valores de  $Y$ , puede dividirse en dos componentes:

- a) Variación explicada, que mide la cantidad de la variación total que es explicada por la superficie de regresión ajustada.
- b) Variación inexplicada (residuales), que es aquella parte de la varianzaa total que no es explicada por el ajuste de la superficie de regresión.

El coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) se obtiene al dividir la suma de cuadrados explicados  $(\sum(\hat{Y} - \bar{y})^2)$  entre la suma total de cuadrados  $(\sum(Y_i - \bar{y})^2)$  (Donde:  $\hat{Y}$ : valor calculado,  $\bar{y}$ : valor medio de  $Y$ ; y  $Y_i$ : valor observado o valor de origen.

$R^2$  indica la proporción del total de variación en los valores de  $Y$  observados que es explicada por la regresión de  $Y$  sobre  $X$ .

El valor calculado ( $\hat{Y}$ ) es decir, el valor obtenido de la recta de regresión, puede interpretarse como la estimación de la media de la subpoblación de los valores de  $Y$  que

se supone que existen para combinaciones particulares de valores de  $\mathbf{X}$ ; en este caso,  $\hat{Y}$  es una estimación.

Cuando  $\hat{Y}$  es el valor que probablemente asumirá  $\mathbf{Y}$  para los valores dados de las  $\mathbf{X}$ ;  $\hat{Y}$  es un valor de predicción.

Cuando  $R^2$  es grande, la regresión ha explicado una gran proporción de la variabilidad total en los valores observados de  $\mathbf{Y}$ ; y se acepta la ecuación de regresión.

Si el número de grados de libertad es pequeño, el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) y  $R^2$  ajustada tienden a ser grandes; y si el tamaño de la población ( $n$ ) es grande, el factor  $((n-1)/(n-2))$  se aproxima a 1 y la diferencia entre  $R^2$  y  $R^2$  ajustada tiende a cero.

$$R^2 \text{ ajustada} = 1 - (\sum (Y_i - \hat{Y})^2)(n-2)^{-1} / (\sum (y_i - \bar{y})^2)(n-1)$$

El análisis de correlación múltiple y  $R^2$  se utilizan para determinar la influencia de las variables predictoras o independientes, sobre la producción primaria (expresada de diversas maneras), con respecto a la varianza explicada por el modelo de regresión, así como para obtener el porcentaje de la variación con la que contribuyeron las variables independientes a la determinación del modelo.

En el coeficiente de correlación múltiple, como en casos donde sólo se cuenta con una sola variable predictora, la variación total o suma de cuadrados en  $\mathbf{Y}$  (variable de criterio), puede ser dividida en dos componentes independientes, uno que es explicado por la regresión y otro que es explicado por la variación residual, y se supone con la descomposición que:

- a) La variación residual será minimizada cuando se efectúe la predicción al usar la ecuación de regresión.
- b) Que los valores calculados ( $\hat{Y}$ ) y los residuales ( $Y_i - \hat{Y}$ ) son mutuamente independientes.

La proporción de la varianza de  $\mathbf{Y}$  explicada por la suma de cuadrados del coeficiente de correlación múltiple y la bondad del ajuste en la ecuación de regresión, pueden ser evaluados al examinar la  $R^2$ .

#### Coeficiente de Correlación Múltiple (R).

Es la raíz cuadrada del coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Mide la intensidad de la relación lineal entre  $\mathbf{X}$  y  $\mathbf{Y}$ . Es posible interpretar a “ R ” como un coeficiente de

correlación simple entre los valores observados ( $Y_i$ ) y calculados ( $\hat{Y}$ ), para la variable “de criterio”.

La correspondencia perfecta entre los valores observados y los calculados de  $Y$  resultarán en un coeficiente de correlación de 1, mientras que la ausencia total de una relación lineal entre los valores observados y los calculados producirán un coeficiente de correlación igual a 0.

Es necesario mencionar que  $R$  es un número sin unidades o dimensiones, ya que la escala de su numerador y la de su denominador son el producto de las escalas en que se miden  $X$  y  $Y$ . Los valores positivos de  $R$  indican una tendencia de aumento de  $X$  y  $Y$  conjuntamente (pendiente positiva) y cuando  $R$  es negativa, entonces grandes valores de  $X$  están asociados con pequeños valores de  $Y$  (pendiente negativa) (Stat Soft, 1997).

A continuación se muestra un resumen de cada uno de los parámetros que se verán en los resultados del análisis de regresión múltiple.

**Regresión Múltiple para determinada variable de criterio**

Variable de Criterio:						
R =		F(2,18) =				
R <sup>2</sup> =		p				
R <sup>2</sup> ajustada =		Error estándar del estimado:				
Intercepto ( $\alpha$ ) =		Error estándar de $\alpha$ =			t(18) =	
					p	
	BETA	Error est. de BETA	B	Error est. de B	t(13)	nivel de p
Variable Dependiente						

DONDE:

$R^2$  = Coeficiente de determinación múltiple. Informa el porcentaje que explican las variables explicativas a la variable de criterio.

$R$  = Coeficiente de correlación múltiple. Indica el grado de asociación que existe entre las variables explicativas y la variable de criterio en un rango de -1 a 1 pasando por cero.

Error estándar del estimado = Define los intervalos de confianza para  $Y$  calculada (variable de criterio)

$F$  y  $p$  = Prueba de varianza  $F$  con su respectivo nivel de significancia ( $p$ ), prueba si el modelo propuesto es diferente a cero; por lo tanto; el modelo puede ser generalizable para la Laguna de Tres Palos.

Intercepto ( $\alpha$ ) = Nivel en el que empiezan a ser significativas las relaciones entre variables explicativas y la de criterio.

Beta = Coeficiente estandarizado de regresión. Indica la importancia de cada una de las variables dentro del modelo

B = Coeficiente regresión parcial. Implica que el valor de cualquiera de las variables explicativas se le resta los efectos asociados con las otras variables explicativas.

t = Prueba de t. Informa cual de los coeficientes de regresión parcial tiene un valor significativamente mayor que cero; es decir; muestra la significación de una variable explicativa en relación con la de criterio.

Nivel de p = Indica el nivel de significancia que tiene cada uno de los coeficientes de regresión parcial.

## CAPITULO 5 . RESULTADOS

### 5.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Siguiendo la propuesta metodológica, las variables se agruparon en subcompartimentos, con el fin de llevar un orden lógico a su presentación y análisis de su comportamiento tanto individual como con relación a otras variables.

En el cuadro 5.1 (a, b, c, d) se muestran los estadísticos básicos para cada variable por subcompartimento.

La tabla permite apreciar las variables que se aproximan a la distribución normal, esto es, aquellas con media y mediana parecidas. La evaporación, entre las variables meteorológicas, y la turbiedad, dentro de las variables físicas no parecen presentar normalidad.

La mayor separación de la normalidad se da entre las variables biológicas, excepto en la Clorofila *a* y en la DBO<sub>5</sub>. Además, este grupo de variables presentan las mayores variaciones entre los datos.

Las variables físicas, en su mayoría, presentan una distribución cercana a la normalidad.

Por su parte, las variables físico-químicas salinidad, conductividad, sólidos totales, dureza total, sulfatos, DQO (total y soluble) presentan poca normalidad y una gran variación entre muestras.

Los derivados de nitrógeno y fósforo, relacionados con el nivel trófico del agua o disponibilidad de nutrientes para la comunidad acuática, muestran en su mayoría no normalidad y una gran variabilidad, excepto los fosfatos, el fósforo total, el nitrógeno total y el nitrógeno orgánico.

Cuadro 5.1 Estadística Descriptiva para cada uno de los compartimentos a analizar.

a) Variables Meteorológicas.

VARIABLE	UNIDADES	N	MEDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESV.EST.
Temperatua del Aire	°C	173	31.19	31.00	26.40	36.00	1.88
Evaporación	Mm	63	8.06	2.50	2.30	22.20	8.39
Dirección del Viento	grados	93	228.31	265.20	20.00	290.00	87.05
Velocidad del Viento	m/s	93	2.82	2.40	1.90	4.00	0.74
Temperatura Máxima	°C	93	32.57	32.90	29.60	33.80	1.11
Temperatura Ambiental	°C	93	27.86	27.70	27.40	29.00	0.51
Temperatura Minima	°C	93	23.05	22.70	22.10	24.40	0.82
Nubosidad	Octas	93	2.53	2.00	1.00	6.00	1.57

b) Variables Biológicas.

VARIABLE	UNIDADES	N	MEDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESV.EST.
Fotosíntesis Bruta	mgC/m <sup>3</sup> .d	25	2.61	1.70	-0.40	10.70	2.73
Respiración	mgC/m <sup>3</sup> .d	25	-0.54	0.00	-9.90	2.50	2.58
Fotosíntesis Neta	mgC/m <sup>3</sup> .d	25	3.15	2.20	-1.80	20.60	4.94
Productividad	mgC/m <sup>2</sup> .d	25	0.73	0.06	-0.08	10.54	2.33
Clorofila a	mg/m <sup>3</sup>	172	67.01	51.77	0.00	243.50	51.49
DBO <sub>5</sub> &	mg/l	215	17.64	14.06	0.01	331.69	24.28
Coliformes Totales	NMP/100ml	183	2954.03	90.00	0.00	110000.00	12152.69
Coliformes Fecales •	NMP/100ml	184	1652.11	2.00	0.00	90000.00	8745.90

& El valor de la media es apto para A y B del Cuadro 5.2 y/o cumple con los límites máximos permisibles en el cuadro 5.3.

- El valor de la media supera con mucho el límite máximo en el cuadro 5.3.

c) Variables Físicas.

VARIABLE	UNIDADES	N	MEDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESV.EST.
Profundidad	m	205	1.383	0.1	0.1	7.4	2.017
Visib. del Disco de Secchi	m	130	0.519	0.46	0.23	0.95	0.179
Turbiedad	UHT	22	46.09	35.5	25	230	43.157
Temperatura del Agua	°C	205	30.227	30	27.3	34.1	1.273



d) Variables Físico-Químicas.

VARIABLE	UNIDAD	N	MEDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESV.EST.
pH		172	9.04	9.12	6.94	10.16	0.60
Acidez	mg/l	21	2.19	2.08	0.00	6.00	2.21
Alcalinidad	mg/l-CaCO <sub>3</sub>	43	143.92	135.81	105.61	205.69	22.61
Salinidad	‰	172	3.89	2.687	0.00	29.00	4.89
Conductividad	µsm/cm	150	6422.97	3040.00	810	44500	7610.03
Cloruros	mg/l	43	531.12	523.29	1.01	2481.5	591.91
Sólidos Totales	mg/l	43	811.37	487.01	4.03	2016	852.93
Sol. Suspendidos Totales <sup>ℓ</sup>	mg/l	214	37.06	30.50	6.07	287	31.03
SAAM	mg/l	122	0.09	0.06	0.00	0.59	0.11
Dureza Total	mg/l	22	572.47	898.81	1.00	999.97	460.53
Dureza al Calcio	mg/l	22	202.90	181.82	90.90	471.79	73.78
Sulfatos	mg/l	185	347.62	73.74	8.03	25619.61	1891.86
Grasas	mg/l	172	5.26	4.05	0.00	33.33	5.14
Oxígeno Disuelto	mg/l	215	5.67	5.31	0.00	16.5	3.82
DQO <sub>Tot.</sub>	mg/l	170	163.99	102.08	15.21	1419.27	208.85
DQO <sub>Sol.</sub>	mg/l	132	138.83	81.75	31.22	1288.34	202.21

<sup>ℓ</sup> Valor de la media apto para A y B del Cuadro 5.2 pero supera el valor máximo permisible en el cuadro 5.3. El valor máximo supera las especificaciones del cuadro 5.2

Derivados del Nitrógeno y Fósforo

VARIABLE	UNIDAD	N	MEDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESV.EST.
Fosfatos	mg/l	22	0.17	0.13	0.11	0.49	0.11
Fósforo Total <sup>&amp;</sup>	mg/l	172	0.25	0.18	0.00	2.43	0.32
Fósforo Extractable	mg/l	142	0.06	0.01	0.00	1.09	0.14
Amonio	mg/l	172	0.63	0.02	0.00	26.91	2.64
Nitrato	mg/l	142	0.34	0.00	0.00	2.94	0.66
Nitrito	mg/l	142	0.007	0.002	0.00	0.066	0.01
Nitrógeno Total <sup>&amp;</sup>	mg/l	172	3.43	2.93	0.00	27.25	4.07
Nitrógeno Orgánico	mg/l	142	3.01	2.98	0.00	26.94	3.18

<sup>&</sup> El valor de la media es apto para A y B del Cuadro 5.2 y/o cumple con los límites máximos permisibles en el cuadro 5.3.

La calidad del agua de la laguna es tal, que puede compararse con los valores máximos permisibles de contaminantes básicos de “aguas residuales tratadas” descargadas en aguas o bienes nacionales (Cuadro 5.2). Se muestra únicamente los parámetros establecidos para las descargas en aguas costeras.

Las variables del Cuadro 5.1 marcadas con <sup>&</sup> y con <sup>ℓ</sup> igualan o rebasan el valor promedio permisible, mientras que las variables marcadas con • presentan un valor mayor del límite superior de calidad del agua adecuada para servicios públicos de contacto indirecto u ocasional (Cuadro 5.3).

Por otro lado, la cantidad de coliformes fecales es tan alta que sugiere no tener algún contacto directo con el hombre, además hace riesgosa la pesca para la salud de los consumidores.

Cuadro 5.2 Límites máximos permisibles para Contaminantes Básicos.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS						
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	AGUAS COSTERAS					
	Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	40	40	40	40	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25
SST	150	200	75	125	75	125
DBO <sub>5</sub>	150	200	75	150	75	150
Nitrógeno Total	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25
Fósforo Total	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Pondera

P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual:

N.A. = No es aplicable.

(A) y (B): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(NOM-001-SEMARNAT-1996)

Cuadro 5.3 Límites máximos permisibles para Contaminantes Básicos.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES					
TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo	240	[1]	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	[5]	15	30	30

(NOM-001-SEMARNAT-1996)

De acuerdo con el cuadro 4.1 la concentración media de clorofila *a* (67.01 mg/m<sup>3</sup>) tiene un IT correspondiente al intervalo de 70-79 que ubica a la laguna de Tres palos en la categoría de  $\beta$ - Eutrófico, sin embargo, el valor máximo de clorofila *a* pone a la laguna en una categoría trófica más elevada ( $\gamma$ -Eutrófico).

## 5.2 ANÁLISIS DE CORRELACIONES

El Cuadro 5.1 es útil para determinar las variables que se incluirán en el análisis de correlación. Cabe aclarar que los datos de Respiración, Fotosíntesis Bruta y Fotosíntesis Neta son pocos, sin embargo coinciden con las fechas de la mayoría de los datos abióticos (1997), por lo tanto es posible utilizarlas en las correlaciones.

Las variables con pocos datos (<100) no pueden ser utilizadas por el paquete para formar la matriz de correlaciones ya que se obtuvieron en fechas que no coinciden con la mayoría de los datos (en 1990 y 1996).

En el Cuadro 5.4 al 5.9 se muestra un resumen de las variables que están altamente correlacionadas entre sí (marcadas de manera automática por el paquete). Esta se formó con la opción de “eliminación de las observaciones con datos perdidos” (*casewise deletion of missing data*) en donde solamente se toman en cuenta las observaciones con datos completos, de esta manera el procedimiento es más expedito, aunque disminuye el tamaño de la muestra (N). Se muestran solo las correlaciones significativamente diferentes de cero.

Como se puede observar en el Cuadro 5.4, la mayoría de las correlaciones son positivas con el tiempo excepto Sólidos Suspendidos Totales, Nitrato y la Clorofila *a* lo que hace pensar disminuyeron hacia el final del muestreo, implicando una mejoría relativa en la calidad del agua tal vez por la influencia de agua de mar, sin embargo el incremento de las coliformes totales desmiente esta posibilidad.

Cuadro 5.4 Correlaciones significativas de las variables Físicas, Físico-Químicas y Biológicas con el tiempo (Figura 5.1 – 5.6)

<b>Variables Físicas</b>	Tiempo (mes)	N
Visibilidad del disco de Secchi	<b>0,893</b>	130
Temperatura del agua	<b>0,396</b>	205
<b>Variables Físico-Químicas</b>		
Salinidad	<b>0,551</b>	185
Conductividad	<b>0,424</b>	163
Sólidos Suspendidos Totales	<b>-0,598</b>	214
Nitrato	<b>-0,638</b>	142
<b>Variables Biológicas</b>		
Clorofila <i>a</i>	<b>-0,460</b>	172
Coliformes Totales	<b>0,455</b>	185

Correlación entre variables Físicas (Figura 5.7).

La única correlación significativa entre estas variables se observó con la profundidad y la temperatura del agua (- 0.482) en donde ésta última disminuye con la profundidad.

En el Cuadro 5.5 se observa que las variables físico-químicas presentan correlación positiva con la profundidad, a excepción del pH y el oxígeno disuelto. Como era de esperarse la visibilidad del disco de Secchi aumenta cuando aumentan la conductividad y la salinidad por efecto diluyente del agua de mar, excepto los sólidos suspendidos totales y el nitrato (Figuras 5.9, 5.10 y 5.11).

Cuadro 5.5 Correlación de variables Físicas con variables Físico-Químicas

	Profundidad	N	Visibilidad del disco de Secchi (N = 130)
pH	<b>-0,621</b>	172	NS
Salinidad	<b>0,442</b>	185	<b>0,609</b>
Conductividad	<b>0,516</b>	163	<b>0,472</b>
Sol. Susp. Totales	NS	205	<b>-0,510</b>
Sulfatos	<b>0,422</b>	185	NS
Fósforo Total	<b>0,445</b>	172	NS
Fósforo Extractable	<b>0,424</b>	142	NS
Nitrato	NS	142	<b>-0,491</b>
Oxígeno Disuelto	<b>-0,792</b>	205	NS
DQO <sub>TOT</sub>	<b>0,461</b>	170	NS
DQO <sub>SOL</sub>	<b>0,454</b>	132	NS

NS = No significativa

La productividad primaria, como lo muestra el Cuadro 5.6, aumenta en la profundidad, mientras que la visibilidad del disco de Secchi disminuye con la presencia de clorofila *a*, no obstante la visibilidad aumenta con las coliformes totales (Figura 5.13)

Cuadro 5.6 Correlación de variables Físicas con variables Biológicas

	Productividad (N = 25)	Clorofila <i>a</i>	N	Coliformes Totales	N
Profundidad	<b>0,5164</b>	NS	172	NS	185
Visibilidad del Disco de Secchi	NS	<b>-0,541</b>	130	<b>0,463</b>	130

NS = No significativa

El Cuadro 5.7 a) muestra que las variables físico-químicas disminuyen con el pH a excepción del oxígeno disuelto (Figura 5.17).

Por otro lado, la salinidad aumenta con los sulfatos, fósforo total, fósforo extractable y DQO (Total y Soluble).

El cuadro 5.7 (c, d, e, y f) muestra correlaciones positivas, debido a que son elementos que intervienen en los ciclos biogeoquímicos, por lo tanto, se producen simultáneamente o unos a partir de otros.

Cuadro 5.7 Correlación entre variables Físico-Químicas.

a)

	pH	N
Salinidad	<b>-0,634</b>	172
Conductividad	<b>-0,590</b>	163
Sulfatos	<b>-0,679</b>	172
Fósforo Total	<b>-0,641</b>	172
Fósforo Extractable	<b>-0,672</b>	142
Oxígeno Disuelto	<b>0,450</b>	172
DQO <sub>TOT</sub>	<b>-0,501</b>	170
DQO <sub>SOL</sub>	<b>-0,415</b>	132

b)

	Salinidad	N
Sulfatos	<b>0,692</b>	185
Fósforo Total	<b>0,739</b>	172
Fósforo Extractable	<b>0,639</b>	142
DQO <sub>TOT</sub>	<b>0,625</b>	170
DQO <sub>SOL</sub>	<b>0,498</b>	132

c)

	Sulfatos	N
Fósforo Total	<b>0,91</b>	172
Fósforo Extractable	<b>0,99</b>	142
NH <sub>4</sub>	<b>0,57</b>	172
DQO <sub>TOT</sub>	<b>0,84</b>	170
DQO <sub>SOL</sub>	<b>0,72</b>	132

d)

	NH <sub>4</sub>	N
Nitrato	<b>0,239</b>	142
DQO <sub>TOT</sub>	<b>0,476</b>	170
DQO <sub>SOL</sub>	<b>0,376</b>	132
Fósforo Extractable	<b>0,58</b>	142

e)

	Fósforo Total	N
Fósforo Extractable	<b>0,9</b>	142
NH <sub>4</sub>	<b>0,51</b>	172
DBO <sub>5</sub>	<b>0,89</b>	172
DQO <sub>TOT</sub>	<b>0,76</b>	170
DQO <sub>SOL</sub>	<b>0,61</b>	132

La productividad y la DBO<sub>5</sub>, como lo muestra el Cuadro 5.8, aumentan con la presencia de elementos físico-químicos pero disminuyen con valores de pH altos.

La concentración de Clorofila *a* disminuye con la salinidad (Figura 5.18), el amonio y la DQO (Total y Soluble) mientras que las coliformes totales disminuyen al aumentar los sólidos suspendidos totales.

Cuadro 5.8 Variables Biológicas con Físico-Químicas

	PH	Salinidad	SST	Sulfatos	N
Productividad	<b>-0,696</b>	<b>0,925</b>	NS	<b>0,876</b>	<b>25</b>
Clorofila <i>a</i>	NS	<b>-0,476</b> (N=172)	NS	NS	
DBO <sub>5</sub>	<b>-0,611</b> (N=172)	<b>0,652</b> (N=185)	NS	<b>0,991</b> (N=185)	
Coliformes Tot	NS	NS	<b>-0,472</b> (N=183)	NS	

	PTOT	PEXT	NH <sub>4</sub>	DQO <sub>TOT</sub>	DQO <sub>SOL</sub>	N
Productividad	<b>0,910</b>	<b>0,852</b>	<b>0,498</b>	<b>0,743</b>	<b>0,599</b>	<b>25</b>
Clorofila <i>a</i>	NS	NS	<b>-0,483</b> (N=172)	<b>-0,365</b> (N=170)	<b>-0,363</b> (N=132)	
DBO <sub>5</sub>	<b>0,888</b> (N=172)	<b>0,978</b> (N=142)	<b>0,573</b> (N=172)	<b>0,816</b> (N=170)	<b>0,697</b> (N=132)	
Coliformes Tot	NS	NS	NS	NS	NS	

NS = No significativo

### 5.3 ANÁLISIS GRÁFICO DE LA DINÁMICA EN LA LAGUNA DE TRES PALOS.

Para tener una idea general de la dinámica de la biomasa del fitoplancton (como pigmento fotosintético) en la laguna, se muestra gráficamente las correlaciones más representativas que se obtuvieron en el punto 5.2.

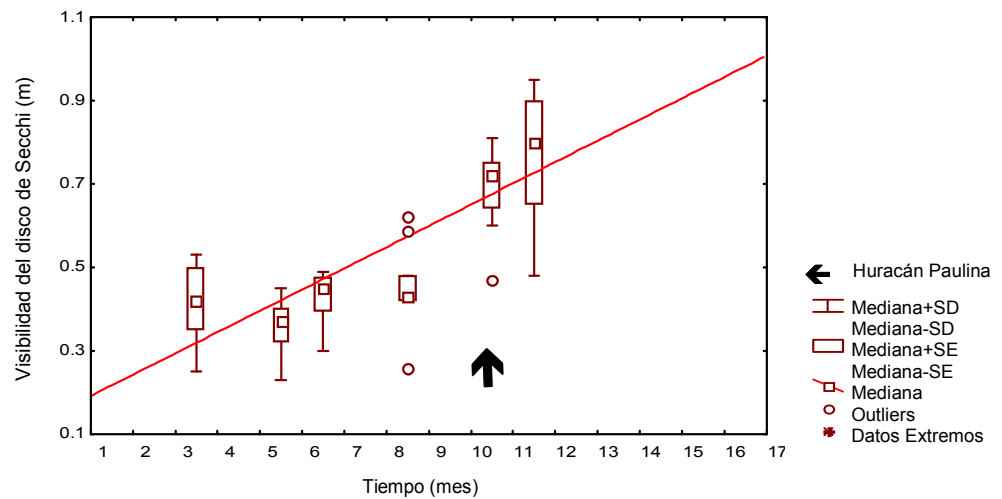


Figura 5.1. Diagrama de caja y bigotes para la Visibilidad del Disco de Secchi en el Tiempo.

Se observa la dinámica del disco de Secchi que presentó su punto mínimo en el mes de mayo de 1997 mientras que su punto máximo es notorio en el mes de octubre del mismo año.

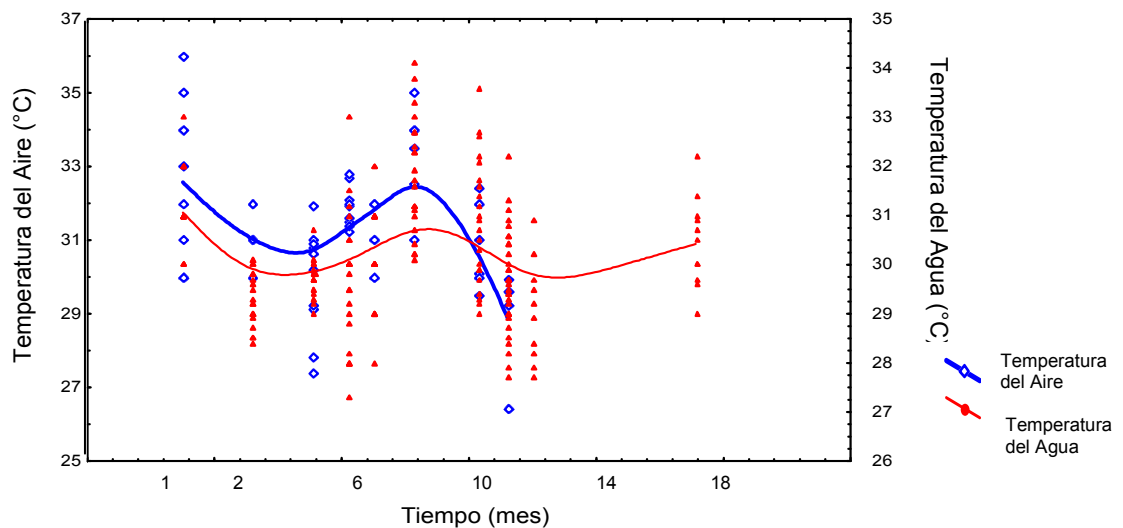


Figura 5.2. Diagrama de dispersión para la Temperatura del Aire y la Temperatura del Agua en el Tiempo.

Se observa la influencia que tiene la temperatura del aire en la temperatura del agua. Mientras la temperatura del aire alcanza su punto máximo entre julio y agosto, la temperatura del agua lo alcanza entre agosto y septiembre debido a su mayor capacidad calorífica. Ambas variables muestran un comportamiento cíclico en el tiempo.

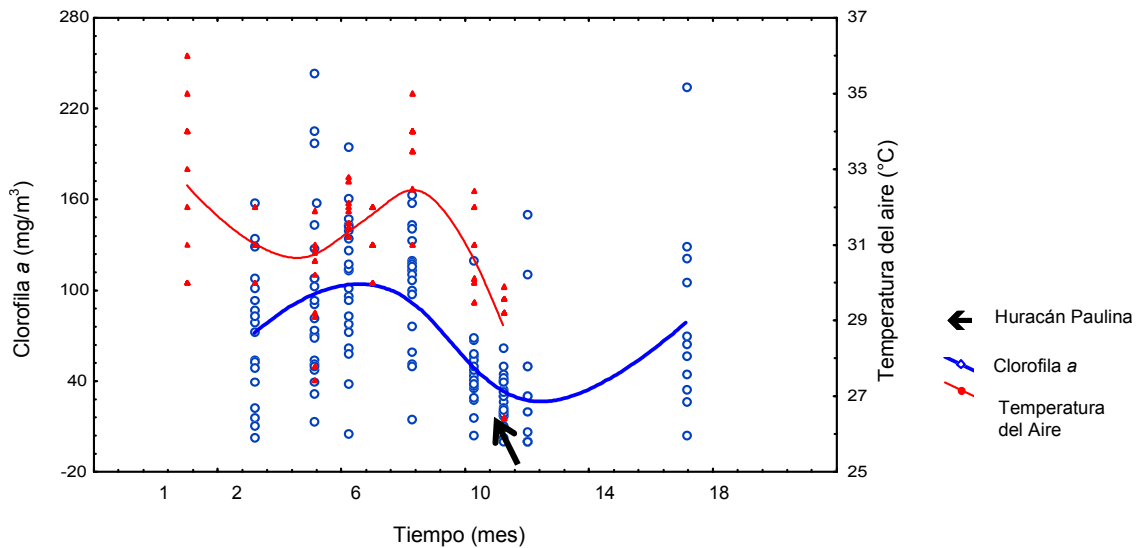


Figura 5.3. Diagrama de dispersión para la Clorofila a y la Temperatura del Aire en el Tiempo.

Se observa que la Temperatura del Aire muestra un comportamiento cíclico alcanzando su valor máximo entre julio y agosto y empieza a descender en el mes de septiembre.

La Clorofila a también tiene un comportamiento cíclico y alcanza su punto máximo entre junio, julio y agosto; desciende notablemente en el mes de octubre, cuando se presentó el huracán Paulina (1997).

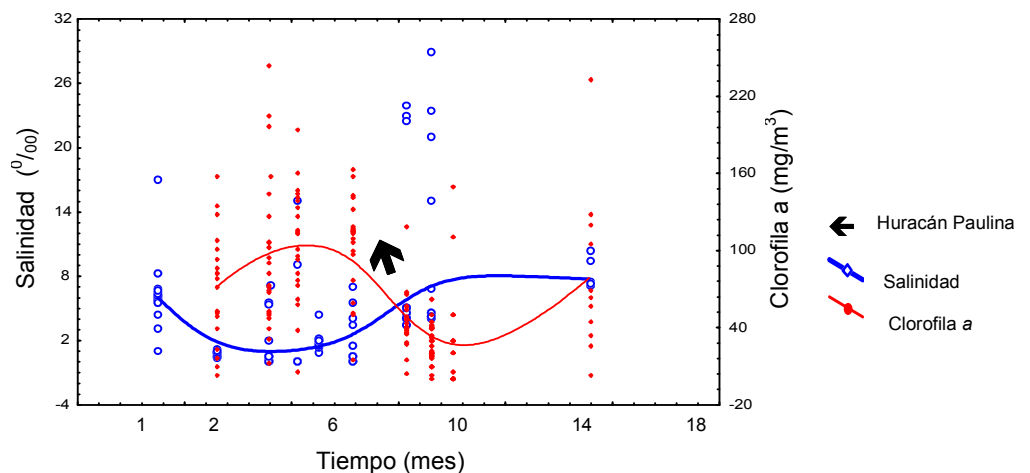


Figura 5.4. Diagrama de dispersión para la Salinidad y la Clorofila a en el Tiempo.



La salinidad por su parte, muestra un comportamiento inverso a la Clorofila *a*, es decir, la salinidad presenta su mayor concentración en el mes de octubre.

Cuando la concentración de Clorofila *a* comienza su descenso, la salinidad comienza su ascenso, manteniendo valores altos por poco tiempo. Ambos tuvieron comportamiento cíclico. En el mes de octubre de 1997 se observan zonas muy salinas.

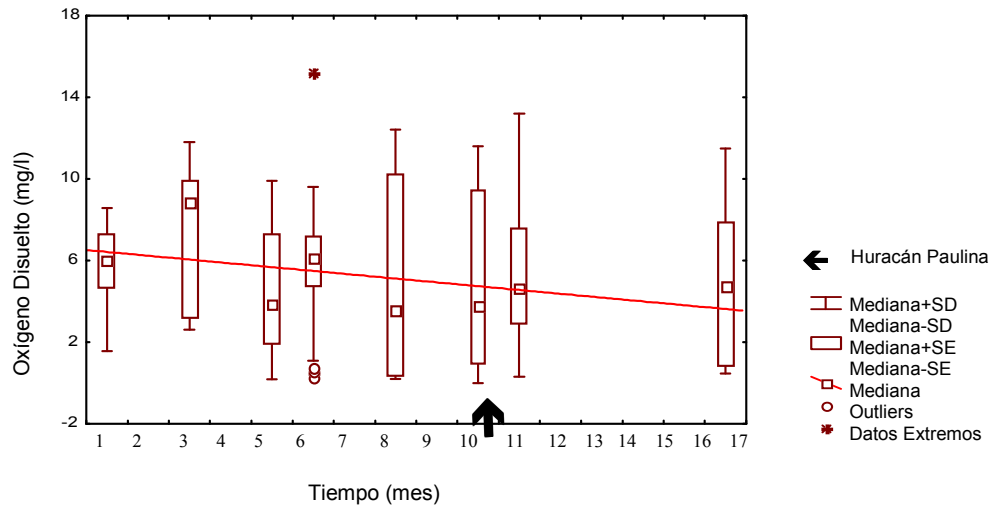


Figura 5.5 Diagrama de caja y bigotes para el Oxígeno Disuelto en el tiempo.

Se observa que la cantidad de Oxígeno Disuelto en la laguna tiene una tendencia a disminuir en el tiempo, sin embargo se recupera al final del periodo de estudio en mayo de 1998.

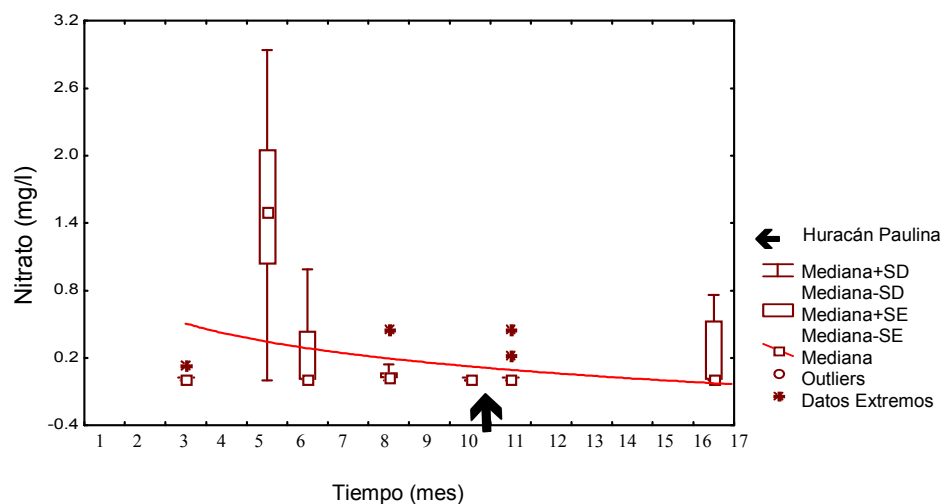


Figura 5.6. Diagrama de caja y bigotes para el Nitrato en el Tiempo.

La presencia del Nitrato en el tiempo mantiene su concentración casi todo el año, sin embargo se puede observar que alcanzó valores altos en el mes de mayo de 1997. El huracán Paulina afectó la presencia de este nutriente en la laguna.

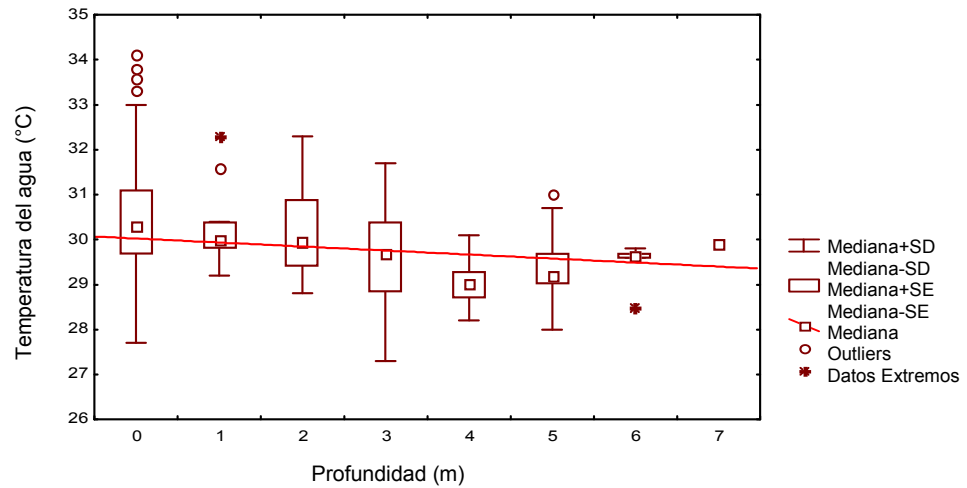


Figura 5.7 Diagrama de caja y bigotes para la Temperatura del Agua en la Profundidad.

Se observa que la Temperatura del Agua tiende a disminuir en la profundidad de la laguna.

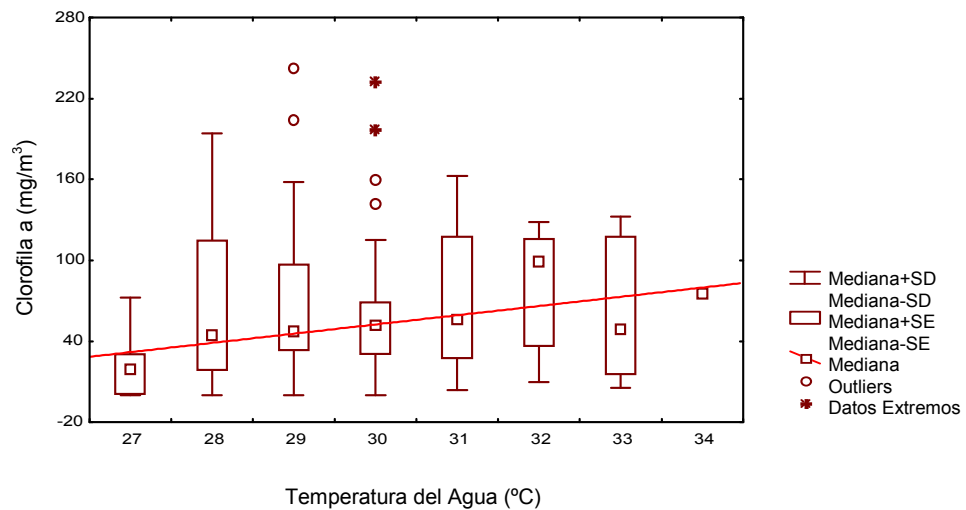


Figura 5.8 Diagrama de Caja y Bigotes para la Clorofila a y la Temperatura del Agua.

Se observa que la concentración de Clorofila a tiene una tendencia a aumentar cuando aumenta la temperatura en el agua.

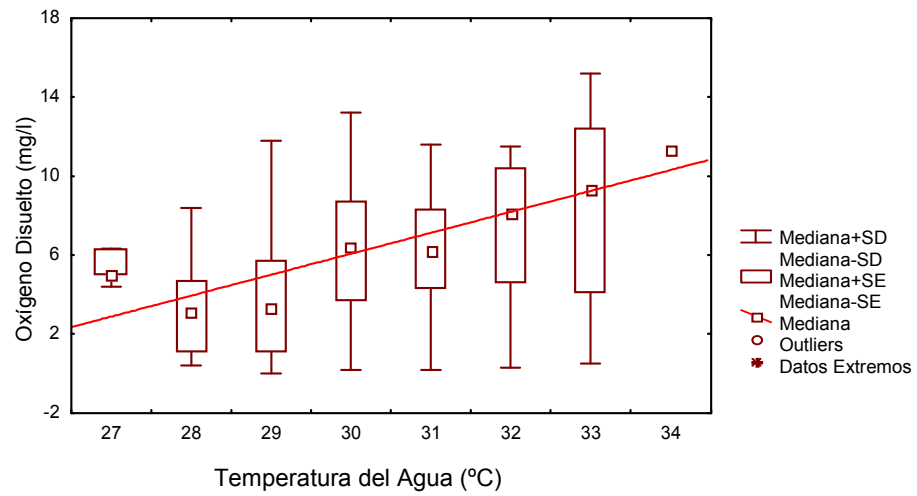


Figura 5.9 Diagrama de Caja y Bigotes para el Oxígeno Disuelto y la Temperatura del Agua.

Se observa que el oxígeno tiende a elevar su concentración cuando aumenta la temperatura en la columna de agua.

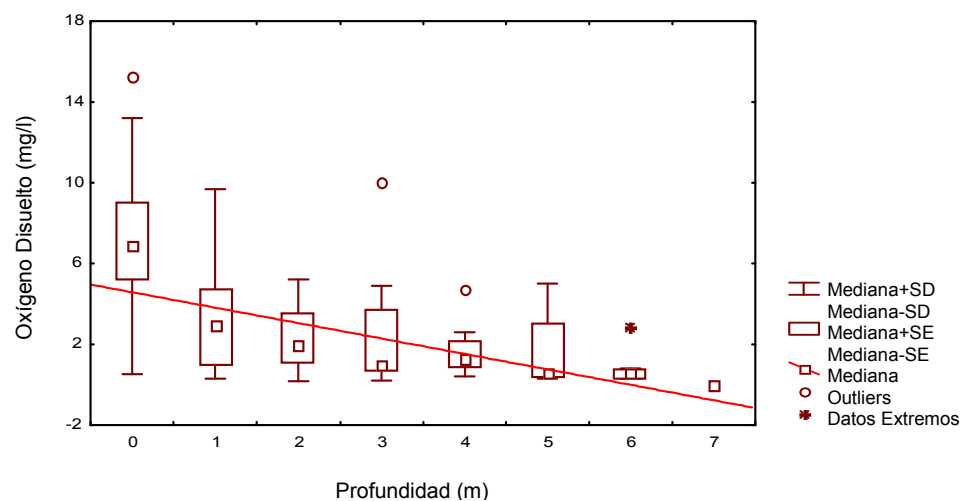


Figura 5.10. Diagrama de Caja y Bigotes para el Oxígeno Disuelto en la Profundidad.

Se observa una tendencia a disminuir la concentración de oxígeno disuelto en la profundidad, sin embargo en la superficie existen zonas que presentan valores muy altos y zonas en donde la presencia de oxígeno disuelto es muy baja. Nótese que incluso a nivel superficial el agua llega a ser anóxica.

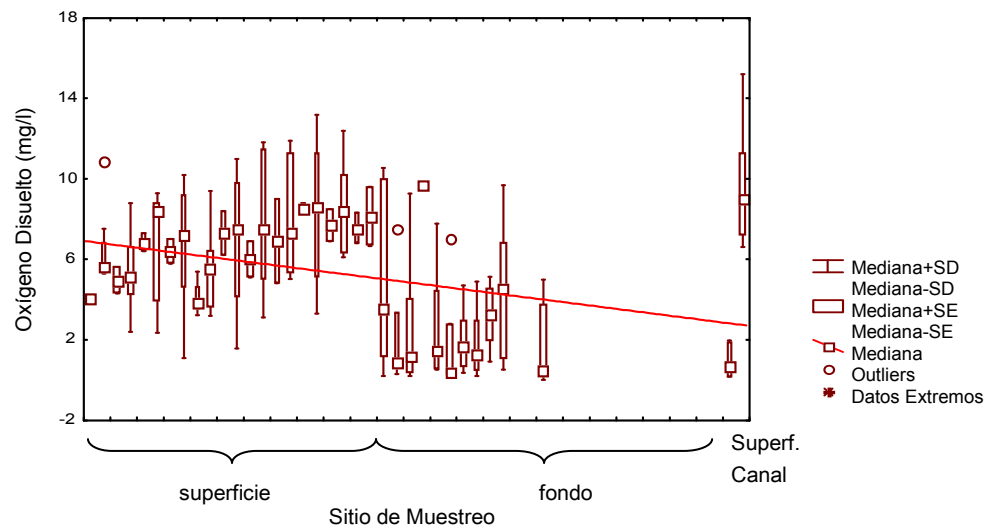


Figura 5.11. Diagrama de Caja y Bigotes para el Oxígeno Disuelto y el Sitio de Muestreo.

Se observa que en la mayoría de los sitios de superficie existen concentraciones de oxígeno adecuadas para la vida acuática (> 2 mg/l), sin embargo en el fondo decae drásticamente la concentración hasta un estado anóxico.

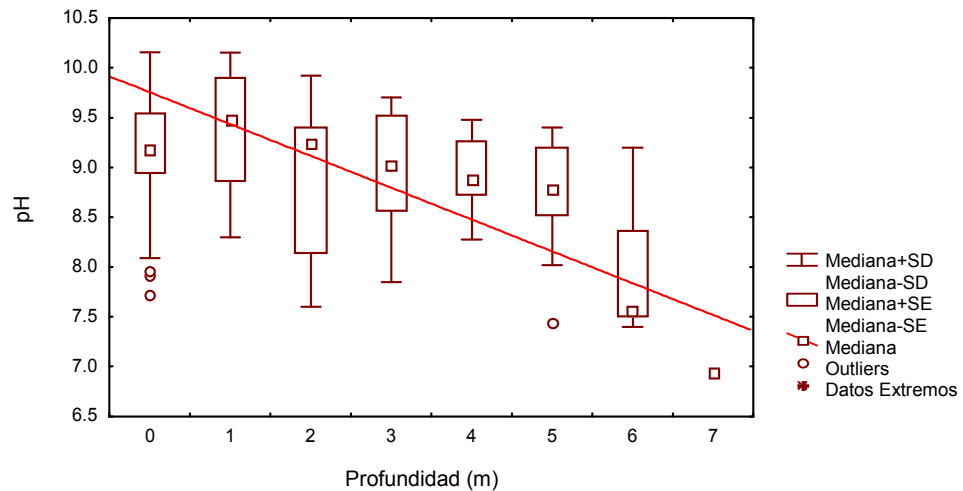


Figura 5.12. Diagrama de Caja y Bigotes para el pH en la Profundidad.

Muestra el perfil vertical de pH en la laguna en donde se observa que tiene una tendencia a disminuir en la profundidad. A cinco metros de profundidad se observa un decaimiento brusco en el pH hasta alcanzar su valor mínimo en el fondo de la laguna.

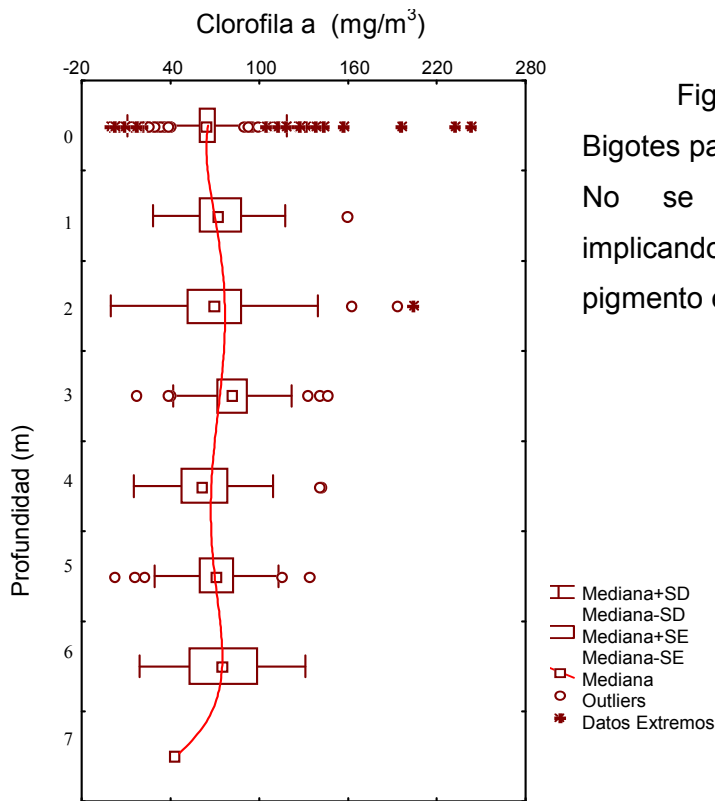


Figura 5.13 Diagrama de Caja y Bigotes para la Clorofila a en la Profundidad. No se observa ninguna tendencia, implicando una distribución homogénea del pigmento en la columna de agua.

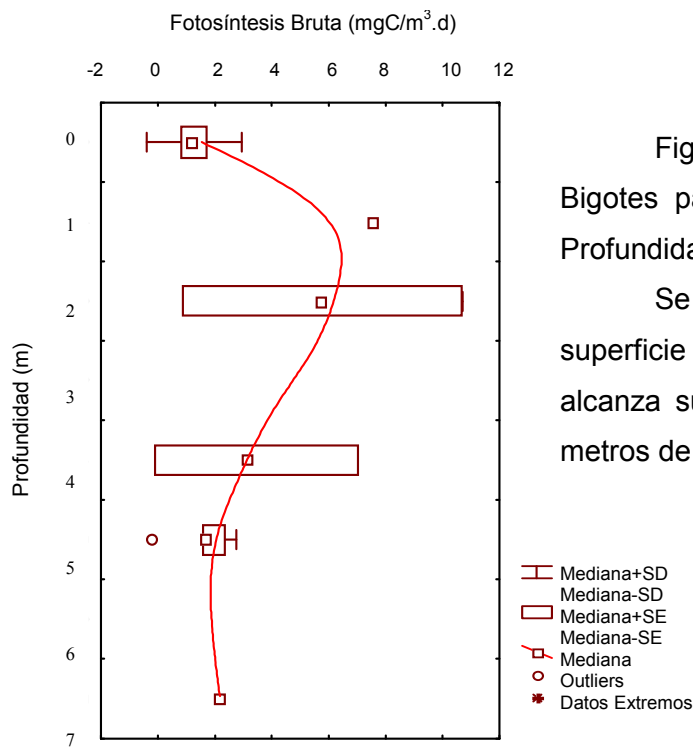


Figura 5.14 Diagrama de Caja y Bigotes para la Fotosíntesis Bruta en la Profundidad.

Se observa una fotoinhibición en superficie formando una estratificación que alcanza su zona óptima entre uno y dos metros de profundidad.

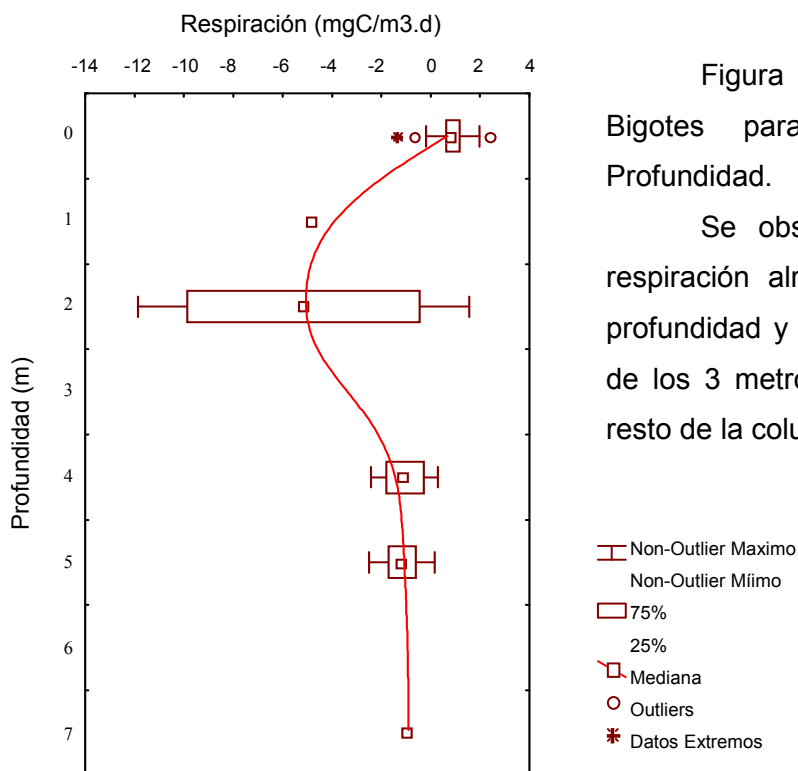


Figura 5.15 Diagrama de Caja y Bigotes para la Respiración en la Profundidad.

Se observa una máxima tasa de respiración alrededor de los 2 metros de profundidad y comienza su descenso cerca de los 3 metros manteniéndose baja en el resto de la columna de agua.

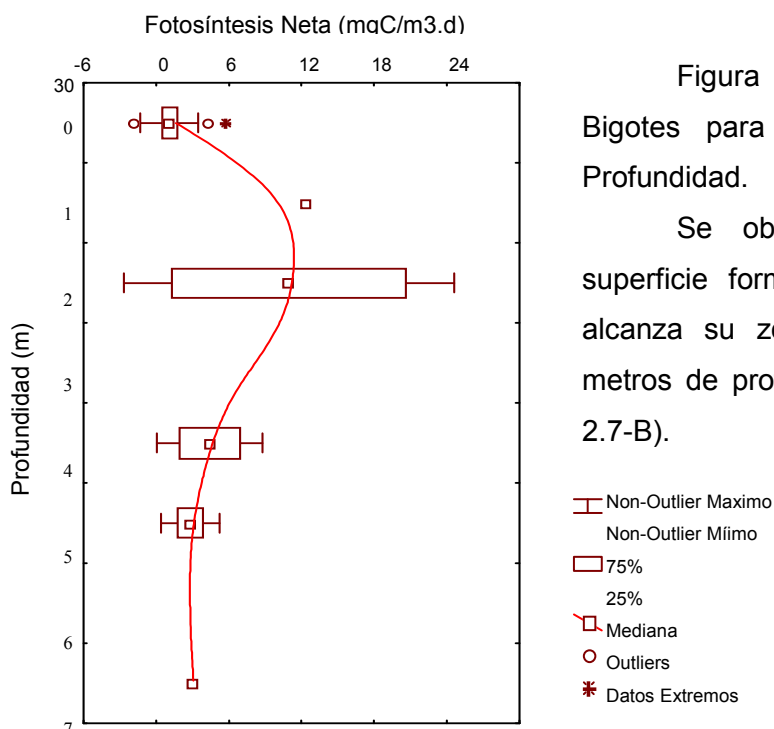


Figura 5.16 Diagrama de Caja y Bigotes para la Fotosíntesis Neta en la Profundidad.

Se observa una fotoinhibición en superficie formando una estratificación que alcanza su zona óptima entre uno y dos metros de profundidad (comparar con Figura 2.7-B).

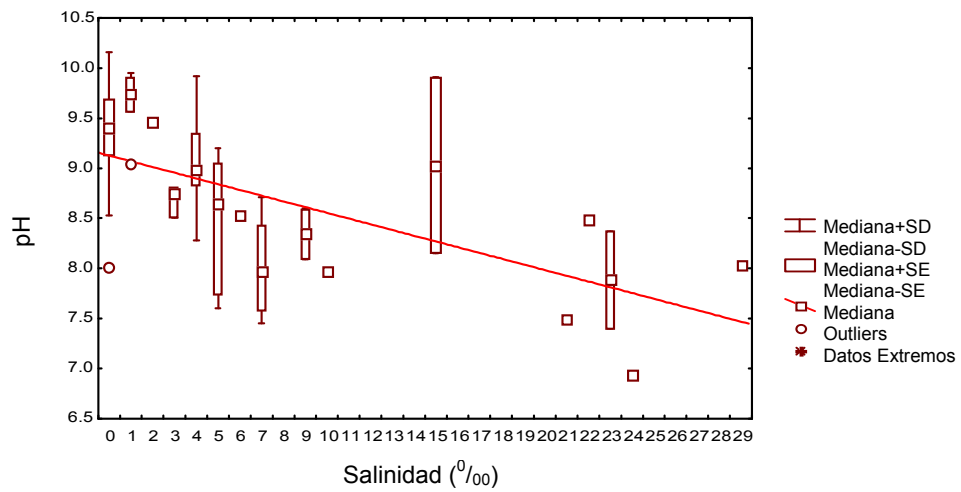


Figura 5.17 Diagrama de Caja y Bigotes para el pH y la Salinidad.

Se observa que el pH tiende a disminuir cuando aumentan los niveles de salinidad.

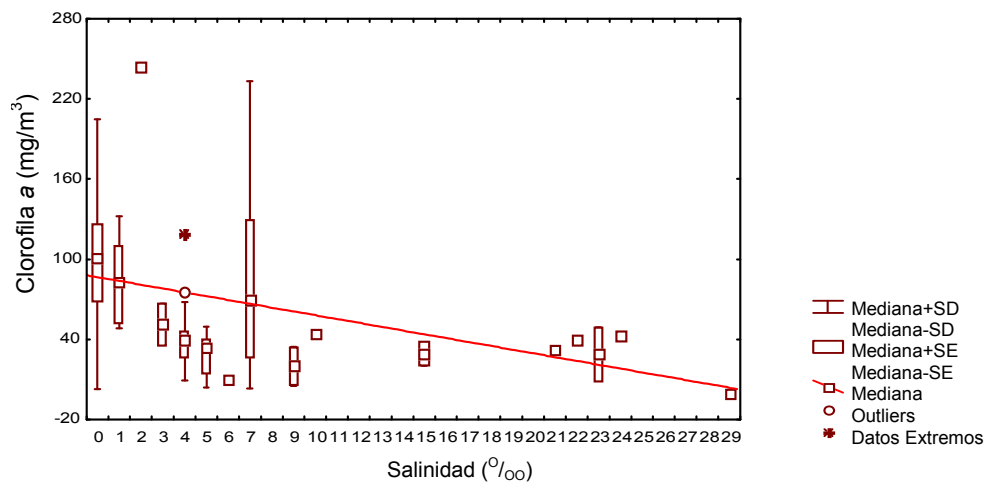


Figura 5.18. Diagrama de Caja y Bigotes para Clorofila a y la Salinidad.

La recta muestra que la Clorofila a tiene una tendencia a disminuir su concentración cuando se eleva el nivel de salinidad en la laguna.

### 5.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

A partir de los análisis de correlaciones y gráfico se deduce la existencia de relaciones entre variables, tanto del mismo como de diferentes compartimentos. Estas relaciones lineales, aunque no forzosamente rectilíneas, justifican la aplicación del análisis de regresión con un enfoque exploratorio de datos, para construir un primer modelo que permita explicar la respuesta de la productividad biológica en función de las variaciones del ambiente y así detectar aquellas variables que tienen una mayor influencia sobre la dinámica de la comunidad.

En el Cuadro 5.9 (a, b, c, d y e) se muestra un concentrado de las variables significativas obtenidas en la matriz de correlaciones (apartado 5.2) que se utilizarán en el análisis de regresión múltiple. Cabe recordar que la Clorofila *a*, la Productividad Primaria, la Fotosíntesis (Bruta y Neta) y la Respiración son las variables de criterio.

Cuadro 5.9 Variables con alguna influencia en las variables de criterio.

a) Con la Clorofila *a*

V. Meteorológicas	V. Biológicas	V. Físicas	V. Físico-químicas
Temperatura del aire Mes	Fotosíntesis Bruta Fotosíntesis Neta	Vis. Del Disco de Secchi	Amonio Salinidad Nitrato Nitrito pH SST SAAM

b) Con la Productividad Primaria

V. Biológicas	V. Físicas	V. Físico-Químicas
DBO <sub>5</sub>	Profundidad	pH Salinidad Sulfatos Fósforo Total Fósforo Extractable Amonio Oxígeno Disuelto DQO <sub>Tot</sub> DQO <sub>Sol</sub>



c) Con la Fotosíntesis Bruta

<b>V. Meteorológicas</b> Temperatura del aire	<b>V. Biológicas</b> Respiración Fotosíntesis Neta
--	--

d) Con la Respiración

<b>V. Físico-Químicas</b> Oxígeno Disuelto	<b>V. Biológicas</b> Fotosíntesis Neta
---	---

e) Con la Fotosíntesis Neta

<b>V. Meteorológicas</b> Temperatura del aire	<b>V. Biológicas</b> Respiración Fotosíntesis Bruta
--	---

En el Cuadro 5.10 se muestra el análisis de Regresión Múltiple teniendo a la Clorofila *a* como variable de criterio. El paquete marca de manera automática a las variables que tienen influencia significativa en la variable de criterio, se hizo el análisis con la opción de “stepwise” que permite introducir variable por variable hasta encontrar una mejor ecuación de regresión.

Cuadro 5.10 Regresión Múltiple para la Clorofila *a*

Variable de Criterio: <b>Clorofila <i>a</i></b>						
R = 0.79		F(8,88) = 17.803				
R <sup>2</sup> = 0.62		p < 0.0000				
R <sup>2</sup> ajustada = 0.58		Error estándar del estimado: 32.92				
Intercepto ( $\alpha$ ) = 114.96		Error estándar de $\alpha$ = 67.38		t(8)=1.70	p < 0.09	
	BETA	Error est. de BETA	B	Error est. de B	t(13)	nivel de p
Mes	-0,923	0,171	-0,197	0,036	-5,408	0,000
Visib, del Disco de Secchi	0,333	0,125	87,813	32,912	2,668	0,009
pH	0,120	0,084	9,774	6,831	1,431	0,156
Salinidad	-0,287	0,098	-2,488	0,846	-2,941	0,004
Sól. Suspendidos Totales	0,353	0,082	0,498	0,115	4,324	0,000
Sus. Act. al Azul de Metileno	-0,074	0,080	-37,870	40,673	-0,931	0,354
Nitrato	-0,610	0,115	-41,864	7,930	-5,279	0,000
Nitrito	-0,130	0,075	-426,463	245,649	-1,736	0,086

Los resultados de éste análisis se observa un índice de correlación múltiple alto ( $R = 0.79$ ) entre las variables explicativas marcadas de negritas y la de criterio (Clorofila *a*). El análisis de varianza (Prueba de F) señaló a éstas variables como los factores que definen a la Clorofila *a* (en  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en la laguna. Para conocer el factor de influencia de mayor intensidad, se utiliza el coeficiente estandarizado de regresión (BETA), el cual define las unidades que aporta la variable explicativa por unidad de Clorofila *a*. El valor de BETA no interviene en el modelo pero sí jerarquiza el nivel de influencia de cada una de las variables explicativas en la concentración de Clorofila *a*. El valor mas alto de BETA es la variable de mayor influencia, en éste caso es el tiempo (mes) ( $\beta = -0.93$ ) y el de menor influencia es la salinidad ( $\beta = -0.287$ ). Ciertamente el tiempo es solo un marco de referencia para conocer los sucesos de cada variable en el contexto de la laguna ya que el tiempo no es un factor como tal, que afecte alguna función fisiológica ecológica.

El coeficiente de regresión parcial (B) implica que el valor de cualquiera de las variables explicativas se le resta los efectos asociados con las otras variables explicativas.

Cada variable explicativa tiene una prueba de hipótesis (prueba de *t*) con su respectivo nivel de significancia (nivel de *p*) que es calculada por el mismo paquete, lo cual muestra que cada una de éstas variables ejerce una influencia significativa en la concentración de Clorofila *a*.

Por lo tanto, la ecuación que define a la productividad a manera de clorofila *a* es:

$$\text{CLOROFILA A} = 114.96 - 0.197(\text{MES}) - 41.864(\text{NITRATO}) + 0.498(\text{SST}) \\ + 87.13(\text{Z\_DISK}) - 2.488(\text{SALIN}) \pm 32.92$$

Así mismo, el análisis de varianza con el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), indica que las variables de influencia explican el 62% de la variación de la concentración de Clorofila *a*. Con un error estándar pequeño (Error estándar del estimado = 32.92).

La prueba de F aplicada a las variables explicativas de la ecuación obtenida, muestra un valor de 17.803 ( $p = 0.0000$ ), con esto se rechaza la hipótesis nula de que no hay relación entre la variable de criterio con las variables explicativas.

Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa en el sentido de que la distribución de los puntos representados en el espacio n dimensional de la regresión es lineal.

El Cuadro 5.11 muestra el resultado del análisis de regresión múltiple teniendo como variable de criterio a la Productividad Primaria.

Cuadro 5.11. Regresión múltiple para la Productividad Primaria.

Variable de Criterio: <b>Productividad Primaria</b>						
<b>R</b> = 0.99		<b>F(2,18)</b> = 322.21				
<b>R<sup>2</sup></b> = 0.97		<b>p</b> < 0.0000				
<b>R<sup>2</sup> ajustada</b> = 0.96		<b>Error estándar del estimado:</b> 0.44				
<b>Intercepto (α)</b> = -1.20		<b>Error estándar de α</b> = 0.126			<b>t(18)</b> = -9.54	
<b>p</b> < 1,8E-08						
	<b>BETA</b>	<b>Error est. de BETA</b>	<b>B</b>	<b>Error est. de B</b>	<b>t(13)</b>	<b>nivel de p</b>
<b>Conductividad</b>	<b>0,557</b>	<b>0,059</b>	<b>0,00017</b>	<b>0,00002</b>	<b>9,475</b>	<b>2,03E-08</b>
<b>Fósforo Total</b>	<b>0,497</b>	<b>0,059</b>	<b>4,276</b>	<b>0,505</b>	<b>8,459</b>	<b>1,09E-07</b>

Los resultados de éste análisis muestran un índice de correlación múltiple alto (R = 0.99) entre las variables explicativas marcadas de negritas y la de criterio (Productividad Primaria). El análisis de varianza (Prueba de F) señaló a la conductividad y al fósforo total como factores que definen a la Productividad Primaria (mgC/m<sup>2</sup>.d). El valor de BETA define las unidades que aporta la variable explicativa por unidad de Productividad Primaria.

Con la prueba de hipótesis (prueba de t) con su respectivo nivel de significancia (nivel de p) se prueba que la relación entre las variables significativas y la de criterio es significativa.

La ecuación que la define es la siguiente:

$$\text{PRODUCTIVIDAD PRIMARIA} = - 1.20 + 0.0007(\text{CONDUCT}) + 4.276(\text{PTOT}) \pm 0.44$$

El análisis de varianza con el valor del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) para ésta ecuación, indica que la variable de influencia explica 97% de la variación de la Productividad Primaria, con un error estándar pequeño (Error estándar del estimado = 0.44).

La prueba de F aplicada a la variable explicativa de la ecuación obtenida, muestra un valor de 322.21 ( $p = 0.0000$ ), con lo que se acepta la hipótesis alternativa en el sentido de que la distribución de los puntos representados en el espacio n dimensional de la regresión es lineal.

Cuadro 5.12 Regresión múltiple para la Fotosíntesis Bruta.

Variable de Criterio: <b>Fotosíntesis Bruta</b>						
R = 0.52		F(1,19) = 6.94				
R <sup>2</sup> = 0.27		p < 0.016				
R <sup>2</sup> ajustada = 0.23		Error estándar del estimado: 2.447				
Intercepto ( $\alpha$ ) = - 25.79		Error estándar de $\alpha$ = 10.73			t(19) = -2.404	
p < 0.027						
	<b>BETA</b>	<b>Error est. de BETA</b>	<b>B</b>	<b>Error est. de B</b>	<b>t(13)</b>	<b>nivel de p</b>
<b>Tem. del Aire</b>	<b>0,517</b>	<b>0,196</b>	<b>0,904</b>	<b>0,343</b>	<b>2,634</b>	<b>0,016</b>

En los resultados de éste análisis se observa un índice de correlación múltiple de  $R = 0.52$  entre las variables explicativas y la de criterio (Fotosíntesis Bruta). El análisis de varianza (Prueba de F) señaló a la Temperatura del aire como el único factor que definen a la Fotosíntesis Bruta ( $\text{mgC/m}^3 \cdot \text{d}$ ).

Con la prueba de hipótesis (prueba de  $t$ ) con su respectivo nivel de significancia (nivel de  $p$ ) se prueba que la relación entre la variable significativa y la de criterio es significativa.

La ecuación que define a la Fotosíntesis Bruta es:

$$\text{FOTOSÍNTESIS BRUTA} = - 25.79 + 0.904(\text{T\_AIRE}) \pm 2.447$$

El análisis de varianza con el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para ésta ecuación, indica que la variable de influencia explica únicamente el 27% de la variación de la Fotosíntesis Bruta, con un error estándar del estimado = 2.447

La prueba de F aplicada a la variable explicativa de la ecuación obtenida, muestra un valor de 6.94 ( $p = 0.016$ ), con lo que se acepta la hipótesis alternativa en el sentido de que la distribución de los puntos representados en el espacio n dimensional de la regresión es lineal.

Cuadro 5.13. Regresión múltiple para la Respiración

Variable de Criterio: <b>Respiración</b>						
R = 0.44		F(1,19) = 4.57				
R <sup>2</sup> = 0.19		p < 0.045				
R <sup>2</sup> ajustada = 0.15		Error estándar del estimado: 2.52				
Intercepto (α) = - 2.25		Error estándar de α = 0.892			t(19) = -2.52	
					p < 0.021	
	<b>BETA</b>	<b>Error est. de BETA</b>	<b>B</b>	<b>Error est. de B</b>	<b>t(13)</b>	<b>nivel de p</b>
<b>Oxígeno Disuelto</b>	<b>0,440</b>	<b>0,206</b>	<b>0,300</b>	<b>0,140</b>	<b>2,138</b>	<b>0,046</b>

El Cuadro 5.13 se muestra un índice de correlación múltiple de R = 0.44 entre las variables explicativas y la de criterio (Respiración). El análisis de varianza (Prueba de F) señaló al Oxígeno Disuelto como el único factor que define a la Respiración (mgC/m<sup>3</sup>.d).

La prueba de hipótesis (prueba de t) con su respectivo nivel de p prueba que la relación entre la variable significativa y la de criterio es significativa.

La ecuación que define a la Respiración es:

$$\text{RESPIRACIÓN} = - 2.25 + 0.300(\text{OD}) \pm 2.52$$

El análisis de varianza con el valor del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), para ésta ecuación, indica que la variable de influencia, explica únicamente el 19% de la variación de la Fotosíntesis Bruta, con un error estándar del estimado = 2.57

La prueba de F aplicada a la variable explicativa de la ecuación obtenida, muestra un valor de 4.57 (p = 0.045), con lo que se acepta la hipótesis alternativa en el sentido de que la distribución de los puntos representados en el espacio n dimensional de la regresión es lineal.

Cuadro 5.14. Regresión múltiple para la Fotosíntesis Neta

Variable de Criterio: <b>Fotosíntesis Neta</b>						
R = 0.97		F(2, 18) = 167.31				
R <sup>2</sup> = 0.95		p < 0.0000				
R <sup>2</sup> ajustada = 0.94		Error estándar del estimado: 1.27				
Intercepto (α) = 1.68		Error estándar de α = 0.403			t(19) = 0.416	
					p < 0.68	
	<b>BETA</b>	<b>Error est. de BETA</b>	<b>B</b>	<b>Error est. de B</b>	<b>t(13)</b>	<b>nivel de p</b>
<b>Fotosíntesis Bruta</b>	<b>0,495</b>	<b>0,081</b>	<b>0,946</b>	<b>0,155</b>	<b>6,089</b>	<b>9,39E-06</b>
<b>Respiración</b>	<b>-0,489</b>	<b>0,081</b>	<b>-0,952</b>	<b>0,158</b>	<b>-6,018</b>	<b>0,00001</b>

Este último análisis resulta obvio ya que la Fotosíntesis Neta se calcula a partir de la Fotosíntesis Bruta y la respiración, por lo tanto éste solamente comprueba que el análisis se esta llevando a cabo adecuadamente.

Como información complementaria, se muestra el Cuadro 5.15 que muestra los grupos fitoplanctónicos y el número de géneros presentes en la laguna de Tres Palos. Estos datos fueron también generados por el IMTA en el muestreo de 1997.

Haciendo una comparación con el Cuadro 5.16, que muestra la frecuencia relativa de la presencia de grupos fitoplanctónicos en diferentes ambientes halinos (Santoyo, 1994), resulta que el grupo predominante en la laguna es el de las *Cianofitas*, el cual es un grupo abundante en ambientes limnéticos o con poca salinidad. También existen grupos que son de ambientes salinos, como las *Diatomeas*, y grupos de amplia distribución como las *Clorofitas*.

Cuadro 5.15 Frecuencia de grupos fitoplanctónicos en la laguna de Tres Palos

GRUPO	NÚMERO DE GÉNEROS
Diatomeas	5
Cianofitas	11
Clorofitas	7
Pirrofitas	1

Cuadro 5.16. Frecuencia Relativa de los Grupos Fitoplanctónicos en las lagunas costeras, de acuerdo con los ambientes salinos (Santoyo, 1994).

GRUPO	EUHALINO (30-40 ‰)	POLIHALINO (18-30 ‰)	MESOHALINA (3-18 ‰)	LIMNÉTICO (< 3 ‰)
Cianofitas	B	M	M-A	A
Euglenofitas	B	B	M	A
Clorofitas	A	A	A	A
Cocolitofóridos	A	M	B	B
Dinoflagelados	A	B	B	B
Diatomeas	A	M	M	M

FRECUENCIA: A = abundante  
M = media  
B = baja

En el Cuadro 5.17 muestra una comparación del historial de la composición en géneros de la comunidad fitoplanctónica de 1975, 1995 y 1997 presentes en la laguna (Banderas, 1997). En ella se observa que algunos géneros están presentes en una época de estudio y ausentes en otra, además hubo aparición de géneros nuevos en los estudios de 1995 y 1997.

Cuadro 5.17. Sucesión de la comunidad fitoplanctónica de la Laguna de Tres Palos, Guerrero (Banderas, 1997)

No.	GÉNERO	BARRERA. 1975	ICMYL-EcorRed (1995)	IMTA-IPN, 1997
1	<i>Navicula</i>	+	+	
2	<i>Pandorina</i>	+		
3	<i>Clamydomonas</i>	+	?	
4	<i>Tetrastrum</i>	+		
5	<i>Lagerheimia</i>	+		
6	<i>Phymatodocis</i>	+		
7	<i>Crucigenia</i>	+		
8	<i>Closterium</i>	+		
9	<i>Cosmarium</i>	+		
10	<i>Gloeocystis</i>	+		
11	<i>Ceratium</i>	+	?	
12	<i>Gymnodinium</i>	+	+	
13	<i>Euglena</i>	+	+	
14	<i>Coscinodiscus</i>	+		
15	<i>Chaetoceros</i>	+	+	
16	<i>Skeletonema</i>	+	+	
17	<i>Biddulphia</i>	+		
18	<i>Grammatophora</i>	+		
19	<i>Terpsince</i>	+		
20	<i>Diatoma</i>	+		
21	<i>Cymbella</i>	+	+	
22	<i>Rhizosolenia</i>	+		
23	<i>Fragilaria</i>	+		
24	<i>Gloeocapsa</i>	+		
25	<i>Spaerocystis</i>	+		
26	<i>Anabaena</i>	+		
27	<i>Coelosphaerium</i>	+		
28	<i>Cyclotella</i>	+	+	+
29	<i>Aphanocapsa</i>	+	+	+
30	<i>Gyrosigma</i>	+	+	+
31	<i>Synedra</i>	+	+	+
32	<i>Scenedesmus</i>	+	+	+
33	<i>Oocystis</i>	+		+
34	<i>Microcystis</i>	+	+	+
35	<i>Ankistrodesmus</i>	+	+	+
36	<i>Merismopedia</i>	+	+	+
37	<i>Anabaenopsis</i>	+		+
38	<i>Chroococcus</i>	+		+
39	<i>Nitzschia</i>	+	+	+
40	<i>Spirulina</i>	+	+	+
41	<i>Oscillatoria</i>	+	+	+
42	<i>Quadrigula</i>			+
43	<i>Chlorella</i>		+	+
44	<i>Mastogloia</i>			+
45	<i>Glenodinium</i>		?	+
46	<i>Kirchneriella</i>		+	+
47	<i>Lyngbia</i>			+
48	<i>Rhabdoderma</i>			+
49	<i>Dactylococcopsis</i>			+
50	<i>Stichococcus</i>			+
51	<i>Aphanotece</i>			+
52	<i>Cryptomonas</i>		+	
53	<i>Achinanthes</i>		+	
54	<i>Amphora</i>		+	
55	<i>Cocconeis</i>		+	
56	<i>Gomphonema</i>		+	
57	<i>Hantzchia</i>		+	
58	<i>Tetraedron</i>		+	
59	<i>Treubaria</i>		+	
60	<i>Phacus</i>		+	
61	<i>Trachelomonas</i>		+	
62	<i>Aphanizomenon</i>		+	
63	<i>Synechococcus</i>		+	
64	<i>Amphidinium</i>		+	
65	<i>Gonyaulax</i>		+	
66	<i>Gyrodinium</i>		+	
67	<i>Dinobryon</i>		+	
<b>Total de Géneros</b>		<b>41</b>	<b>38</b>	<b>24</b>

## CAPITULO 6. DISCUSIÓN

En el análisis descriptivo se encontró que la Laguna de Tres Palos presenta una calidad de agua deficiente ya que sus valores pueden compararse con los parámetros establecidos para aguas residuales tratadas que se descargan en cuerpos costeros (NOM-001-SEMARNAT-1996) se encontró que el nitrógeno total y la DBO<sub>5</sub> en ocasiones rebasan dichos límites, por su parte las coliformes fecales presentan valores por encima de los límites máximos permisibles (Cuadro 5.1-b), lo que sugiere que no se tenga contacto directo con el agua de la laguna.

Se registró una concentración media de clorofila *a* de 67 mg/m<sup>3</sup>, que de acuerdo a Santoyo (1994) la laguna está en estado eutrófico ya que en su estudio con varios cuerpos de agua en México consideró que concentraciones de 57.5 mg/m<sup>3</sup> de Clorofila *a* (obtenida en la Laguna la Machona, Tabasco) son elevadas, indicando momentos de una eutrofia acentuada con una producción primaria correlativa. Corroborando lo anterior con la propuesta para el índice trófico (IT) aplicado a valores de concentración de Clorofila *a* de ecosistemas acuáticos planteada por Contreras (1994), la laguna de Tres Palos alcanzó un IT de 73 que la ubica en la categoría de β-Eutrófico, sin embargo en la época de estiaje alcanzó concentraciones de clorofila *a* hasta de 243.5 mg/m<sup>3</sup> correspondiente a la categoría γ- Eutrófico. Como puede observarse, la laguna aún con los valores máximos de Clorofila *a* no alcanza la categoría de Hipertófico, pero si está cerca de ser clasificado de esta manera como lo menciona Rojas (1997), por eso es necesario que ya se tomen medidas efectivas de conservación del ecosistema para evitar el avance acelerado de su detrimento.

En el periodo de muestreo de 1997 realizado por el IMTA, se presentó el huracán Paulina en el mes de octubre, como se señala en la Figura 5.3. Inmediatamente después del meteoro se observó un descenso brusco en la concentración de Clorofila *a*, esto demuestra el efecto de dilución como lo describe Sánchez-Carrillo (2001) en su estudio con un humedal semiárido en España, quien encontró que en las épocas de inundación, además de elevar el nivel del agua, existe una dilución en el sistema que disminuye la concentración de Clorofila *a*. Cabe mencionar que la profundidad máxima alcanzada después de el huracán fue de 7.4 m. Barrera (1975) registró una profundidad máxima de 6.5 m, menciona también que Ramírez (1952) alcanza profundidades hasta de 8.5 m.



La concentración de la Clorofila *a* también disminuye por el crecimiento de las poblaciones de herbívoros que se alimentan del fitoplancton, por ejemplo las larvas de crustáceos y peces pequeños como sardinias, gobios, bagres, entre otros, que el plancton es el alimento predilecto (Torres-Orozco, 1994).

Se observó también en la Figura 5.4 que al disminuir la concentración de Clorofila *a*, la concentración de salinidad aumenta (cuadro 5.8), esto muestra un efecto de dilución del sistema por influencia del mar. Las concentraciones altas de salinidad (20-29 ‰) se mantuvieron por poco tiempo (Figura 5.4), debido a la influencia constante del río la Sabana.

De la misma manera, la visibilidad del disco de Secchi se vió afectada por la presencia del huracán (Figura 5.1) ya que en esa época se obtuvo la mayor transparencia del muestreo (0.6-0.9m), esto reafirma el efecto de dilución en la laguna. Pudo observarse que antes del meteoro climatológico, la transparencia de la laguna era notablemente más baja (0.2-0.5 m). La temperatura del aire comenzó su descenso drástico entre julio y agosto (Figura 5.2), favoreciendo el movimiento del aire así como la condensación y la precipitación del vapor de agua; esta llega al suelo y confluye a los cuerpos de agua (río la Sabana-laguna de Tres Palos-océano) aumentando el volumen de dichos ecosistemas, lo que favorece la dilución del sistema de interés en este estudio (laguna de Tres Palos). Cabe mencionar que la temperatura del agua no tuvo cambios drásticos; ésta tiene un comportamiento cíclico anual al igual que la temperatura del aire con un ligero retardo debido a su mayor capacidad calorífica.

Por otro lado, la Figura 5.5 demuestra que la concentración de oxígeno disuelto tuvo muy poca variación durante el año (Cuadro 5.1-d) que de acuerdo al valor de la media del oxígeno disuelto (5.67mg/l) y de la temperatura media del agua (30°C), la laguna tiene un porcentaje de saturación del 80% (de acuerdo al nomograma planteado en Reid y Wood, 1976), lo que refleja que hay respiración pero predominan los procesos fotosintéticos como lo menciona Reid y Wood (1976). Se observó que durante todo el año existen puntos anóxicos (Figura 5.5) excepto en el mes de marzo por el reflejo de la acción del viento que induce una circulación y promueve la mezcla del agua aumentando los niveles de oxígeno disuelto. Sin embargo, Banderas (1997) menciona que en el mes de mayo de 1997 hubo un estado anóxico generalizado debido a la calma del viento que provocó una mortandad de peces, ya que de acuerdo al ciclo biogeoquímico del nitrógeno, en condiciones anaeróbicas se detiene el proceso de transformación biológica del nitrógeno en la nitrificación, provocando esto la acumulación de nitritos. Perdomo (2001), encontró en su estudio de contaminación de aguas subterráneas por nitratos y

coliformes, que en puntos en donde existen cantidades de coliformes altas, el oxígeno disuelto se abate provocando así un estado anóxico que disminuye la presencia de nitratos y por consecuencia aumenta la concentración de nitritos que es un compuesto sumamente toxico para los peces ya que es altamente oxidante.

El nitrato, al igual que todos los nutrientes, tiende a disminuir en el tiempo (Figura 5.6), a excepción del quinto mes en el que se presentaron las concentraciones más altas de nitrato que provocó el estado de anoxia antes mencionado. El nitrato mantuvo concentraciones homogéneas en la columna de agua, lo que refleja la presencia permanente y abundante de nutrientes en el ecosistema. Se presentan tanto ambientes oxidantes como reductores en la columna de agua o bien en los sedimentos por la acción bacteriana sobre los detritos orgánicos, que ponen en solución a los derivados del nitrógeno y del fósforo como amonio y fosfatos. De esta manera, los nutrientes almacenados en los sedimentos son reciclados y puestos a disposición de los productores primarios a través de los ciclos biogeoquímicos (Ortíz, 2005).

González (1991), menciona que las modificaciones en el régimen térmico del agua es uno de los fenómenos más importantes en términos ecológicos; la Figura 5.2 demuestra que la temperatura del aire influye en la temperatura del agua, ambas tienen un comportamiento cíclico a través del tiempo; en la laguna de Tres Palos se observó que las concentraciones de Clorofila *a* tienden a aumentar al elevarse la temperatura del agua (Figura 5.8) ya que la temperatura va ligada a la intensidad de la luz que incide en el cuerpo de agua (Fuentes y Massol-Deyá, 2002), las actividades fotosintéticas aumentan en función de la intensidad lumínica hasta el punto donde el aparato fotosintético se satura de luz. Por otro lado, con el aumento de temperatura del agua también se aceleran las actividades enzimáticas que favorecen los procesos de respiración sobre los fotosintéticos, con excepción de los dos metros de profundidad (Figura 5.16).

En el análisis de correlación se obtuvo que, entre las variables físicas hubo una correlación negativa mostrando que la temperatura del agua disminuye con la profundidad. La Figura 5.7 demuestra con más detalle el perfil vertical de la temperatura del agua, se observa que no existe estratificación térmica marcada.

El oxígeno es un gas que se ve afectado por la temperatura, ya que, al aumentar la temperatura, los gases son menos solubles por lo tanto tienden a desprenderse a la atmósfera (Fuentes y Massol-Deyá (2), 2002). Sin embargo, De La Lanza Espino (1994)

menciona que en los sistemas lagunares, los elementos determinantes son la respiración y la fotosíntesis. En la Laguna de Tres Palos (Figura 5.9), se observa que al aumentar la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto en el agua también aumenta. Esto refleja que en la laguna se presentaron tasas altas de fotosíntesis que dependen de la temperatura ya que ésta guarda estrecha relación con la intensidad de luz que penetra la columna de agua (Ortíz, 2005), requerimiento básico para que se lleve a cabo el proceso fotosintético.

Debido a que la laguna de Tres Palos es un ambiente somero y con poca comunicación al mar, los aportes crónicos de contaminantes por el río la Sabana a la columna de agua consumen y abaten el oxígeno disponible para los procesos metabólicos de la comunidad lagunar. Presenta una media anual de 5.6 mg/l de oxígeno disuelto (80% de saturación), lo que permite la vida de los organismos ya que lo mínimo aceptable de acuerdo a CNA (1989) es de 2 mg/l, aunque existen organismos que requieren concentraciones mayores de 4 mg/l de oxígeno disuelto como es el caso de las truchas, muchas otras especies de crustáceos pueden vivir y reproducirse en ambientes acuáticos donde la concentración de oxígeno disuelto oscila entre 2.0 y 0.1 mg/l (Fuentes y Massol-Deyá (2), 2002) Sin embargo, se encuentran valores muy bajos incluso hasta anóxicos desde la superficie (en tiempos de estiaje), en el centro de la laguna, que es la zona de mayor profundidad, el oxígeno producido por el fitoplancton no alcanza a difundirse para compensar lo consumido por los procesos de respiración. La Figura 5.10 muestra el perfil vertical de oxígeno disuelto en la laguna. Margalef (1983) menciona que el principal consumo de oxígeno en las aguas profundas de los cuerpos de agua se debe a la degradación microbiana de las partículas de materia orgánica muerta que se sedimenta y la que se encuentra en el sedimento. La materia orgánica suspendida es oxidada por las bacterias, utilizando el oxígeno producido por el fitoplancton. El fitoplancton, con el CO<sub>2</sub> y el amoníaco producido por las bacterias, sintetizan materia orgánica y producen oxígeno, sin embargo, el ingreso de materia orgánica suspendida a la laguna es tan alta que el desarrollo de microorganismos a partir de ella demuestran que el nitrógeno orgánico se deriva de la remineralización de los compuestos nitrogenados de los sedimentos, quedando la fijación del nitrógeno atmosférico relegado a un plano secundario como lo demuestra el predominio de algas *Cianofitas* sin heterocisto en la comunidad fitoplanctónica.

La Figura 5.11 demuestra el perfil vertical y horizontal de oxígeno disuelto en la laguna. Se nota que únicamente en la superficie del agua se presentaron condiciones

---

aerobias que favorecen la vida en el ecosistema, los valores máximos observados en ésta figura corresponden a los sitios de muestreo cercanos al canal (sitios 7, 8 y 9, en Figura 4.1). Por otro lado, se observó que en el fondo existe un decaimiento total de la concentración de oxígeno disuelto, las zonas más someras de la laguna alcanzan a oxigenarse por el proceso fotosintético mientras que las zonas más profundas presentan los valores más bajos de oxígeno disuelto, por lo que predomina un estado de anoxia (< 2 mg/l).

Por su parte la concentración de Clorofila *a* en el perfil vertical de la laguna no tiene mucha variación (Figura 5.13), sin embargo el proceso fotosintético alcanza su punto máximo alrededor de los dos metros de profundidad (Figura 5.14 y 5.16).

Siguiendo a Wetzel (1981), la laguna de Tres Palos tiene una tasa fotosintética con una distribución semejante al tipo B de la Figura 2.7, que muestra una fotoinhibición superficial. A pesar de que existen valores de respiración altos (Figura 5.15) alcanza a haber fotosíntesis neta, que de acuerdo con Contreras (1994) representa la energía disponible para otros niveles tróficos después de la energía metabólica usada en mantenimiento y respiración (Fotosíntesis Neta = Fotosíntesis bruta - Respiración). La presencia de microorganismos heterótrofos (coliformes) es tan densa, al igual que la materia orgánica que predominan los procesos de respiración en la columna de agua a excepción de los dos metros de profundidad (Figura 5.16).

El pH es un factor importante en los ecosistemas costeros. Tiene un marcado efecto en el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. En las áreas anóxicas se presentan valores de pH cercanos a 7 (Figura 5.11 y 5.12) que es un valor para que los microorganismos lleven a cabo una buena operación. En cambio, la superficie tiene un pH entre 7.5-10. La actividad fotosintética en presencia de altas concentraciones de Clorofila *a*, como ocurre en la laguna, demanda un consumo grande de CO<sub>2</sub>, de manera que, su utilización exhaustiva por la fotosíntesis puede aumentar el pH a valores tan altos como diez. El uso posible de carbono a partir del ión bicarbonato y la producción de ión oxidrilo (OH<sup>-</sup>) provoca masas de agua con pH alto, ya que si el aporte de CO<sub>2</sub> atmosférico y el que se genera por las bacterias heterótrofas no es suficiente, éste se obtiene de los iones carbonato y bicarbonato presentes en las aguas dulces aportadas por el río la Sabana, los cuales al disociarse, producen oxidrilo y CO<sub>2</sub> que es fijado por el fitoplancton mientras que los iones oxidrilo se acumulan aumentando el pH (Romero, 1998). El cuadro 5.8 mostró que la productividad primaria y el pH tienen

una correlación negativa, lo cual muestra lo antes dicho, a menor producción primaria habrá menor tasa fotosintética y por lo tanto el pH disminuirá por la acción de la respiración.

La salinidad como se muestra en el Cuadro 5.7 a) tiene una correlación negativa con el pH, al observar la Figura 5.17 se muestra con mayor precisión esta relación, cuando se tienen pH altos baja la salinidad, esto puede deberse a que el pH alto ayuda a precipitar sales inorgánicas presentes en el agua, lo que disminuye sus concentraciones, por otro lado, la influencia que tuvo el huracán Paulina en la laguna es posible que se refleje en esta situación, es decir, el huracán provocó una dilución en el sistema, aumentando las concentraciones de salinidad y disminuyendo la concentración de Clorofila *a* (Figura 5.4) por lo tanto disminución en el proceso fotosintético. Esto se demuestra en la Figura 5.18 en la que se observa que la Clorofila *a* disminuye con la salinidad, probablemente se debe a que hubo un incremento drástico de salinidad en la laguna por efecto del huracán, antes de este suceso, de acuerdo con Santoyo (1994), la concentración de salinidad ubicaba a la laguna como un ambiente limnético (salinidad < 3 ‰) y después del meteoro la salinidad alcanzó; por poco tiempo; concentraciones hasta de 20-29 ‰ que corresponden a un ambiente polihalino. Así, en la laguna de Tres Palos el grupo fitoplanctónico predominante son las *Cianofitas* (Cuadro 5.7) que tienen una presencia abundante en los ambientes limnéticos, ambiente que predomina en la laguna de estudio, éste grupo de fitoplancton presenta una rápida reproducción y una adecuada adaptación a ambientes considerados como críticos para algunas comunidades planctónicas (como es el caso de Tres Palos) (Barrera, 1975).

Para definir y jerarquizar los factores que influyen significativamente en la producción primaria, se hizo el análisis de regresión múltiple desde 4 puntos de vista: a manera de Clorofila *a*, de Productividad Primaria, de Fotosíntesis Bruta y de Respiración y se obtuvo lo siguiente:

Los factores que regulan a la Clorofila *a* son: (-)mes, (-)nitrate, (+)SST, (+)Z\_DISK y por último la (-)salinidad, siendo el mes la variable que tiene mayor influencia y la salinidad la de menor influencia significativa (Cuadro 5.10).

La mayoría de las variables de influencia son de tipo físico. Esto muestra que se tiene un efecto sobre la distribución de los pigmentos fitoplanctónicos indirecto, porque, dadas las altas concentraciones de los nutrientes y la disponibilidad de la luz, no parecen estar actuando como factores limitantes, de la producción primaria, sino más bien afectan su distribución o son afectados por ella.

De esta manera, la salinidad proveniente del mar tiene un efecto indirecto a través de la concentración de fosfato. Aún cuando este último no esté directamente señalado por la regresión como factor limitante sí está correlacionado significativamente con la salinidad, pero el signo negativo del efecto de la salinidad en la concentración de pigmento implica simple y llanamente un efecto mecánico de dilución del agua de la laguna por ingreso de agua de mar. Este mismo efecto mecánico se ve a través de la visibilidad del disco de Secchi. Un efecto mecánico contrario lo vemos en los sólidos suspendidos totales, implicando que a mayor cantidad de pigmento mayor concentración de partículas suspendidas.

El efecto negativo del nitrato también puede deberse a la dilución que hubo en el sistema por la influencia de agua de mar y por otro lado este compuesto es absorbido por el fitoplancton para su crecimiento, lo que implica una disminución cuando aumenta la concentración de clorofila *a*. Este factor de influencia da idea de que la biomasa fitoplanctónica presente en el sistema está dada principalmente por microfitoplancton, ya que éste capta preferentemente formas nitrogenadas nuevas como los nitratos (Contreras, 1995).

Este análisis de regresión solo refleja el efecto que tiene el ingreso de agua de mar al diluir todos los elementos de la laguna, excepto la salinidad.

La regresión para la Productividad Primaria como variable de criterio se muestra en el Cuadro 5.11 y se obtuvo que la variable de mayor influencia es la conductividad y la de menor influencia es el  $P_{TOT}$ , ambas variables influyen positivamente en la productividad primaria.

Goldman (1974) menciona que en los cuerpos de agua eutróficos, la Productividad Primaria está determinada por las variables químicas, sin embargo en la laguna de Tres palos la conductividad es la variable que tiene mayor influencia en la Productividad Primaria. Nuevamente, esto se relaciona con la época del huracán, ya que la dilución disminuyó la transparencia de la columna de agua lo que permitió mayor entrada de luz. La laguna no tiene deficiencia de nutrientes, sin embargo, la segunda variable de influencia significativa es el fósforo total, ya que éste es un nutriente limitante para la producción primaria en cuerpos de agua. El fósforo total, tiene pendiente positiva, por lo tanto, si se eleva la concentración de fósforo total en el agua, aumentará la producción primaria, esto es normal ya que el fósforo es esencial para los organismos vivos y no es sustituible por otros elementos en los sistemas biológicos (Pérez, 1999). Esto es porque una de las estrategias del fitoplancton para su persistencia es elevar su tasa de reproducción cuando las condiciones del ecosistema son altamente variables en

escala de tiempo pequeñas (situación que se presentó en la laguna de Tres Palos con la llegada del meteoro) (Wetzel, 2001).

En la regresión para la Fotosíntesis Bruta como variable de criterio (Cuadro 5.12) se obtuvo que la variable con influencia positiva significativa es la temperatura del aire.

La explicación que se puede encontrar para esta relación es que, la temperatura del aire, está relacionada con la intensidad de la luz (Fuentes y Massol-Deyá (2), 2002), ya que la radiación solar provoca un calentamiento de la tierra, elevando así la temperatura del aire, por lo tanto, aumenta la intensidad de luz que llegue al cuerpo de agua y el proceso fotosintético podrá absorber la energía luminosa necesaria para la producción de materia orgánica.

La Respiración (Cuadro 5.13) tiene como variable única de influencia positiva a la concentración de oxígeno disuelto.

El oxígeno es el elemento necesario para que se lleve a cabo la respiración, sin él esto no sería posible. Como se ha visto anteriormente, existen zonas en donde predomina la respiración. La Figura 5.15 muestra que la mayor tasa de Respiración se lleva a cabo cerca de los dos metros de profundidad. Haciendo una comparación con la Figura 5.16 se observa que la mayor tasa fotosintética se da en esta zona en el perfil vertical de la laguna, lo que muestra que al rededor de los dos metros de profundidad se encuentra la zona óptima que provee el oxígeno necesario para la respiración, implicando un potencial oxidativo muy alto presente en la columna de agua.

Las ecuaciones obtenidas en la regresión además de mostrar los factores significativos de influencia y jerarquizar dichos factores, permite predecir el comportamiento de cada una de las variables de criterio al cambiar algún valor de los factores de influencia (variable predictora o independiente) y así tomar decisiones en la implementación de técnicas de restauración de la laguna.

El reflejo de la variación en la calidad de agua a la que se ha expuesto la laguna de Tres Palos, ha provocado un decaimiento en su calidad, por lo que ha disminuido su capacidad pesquera y recreacional. Scasso (1996) encontró que en ambientes eutroficados se sustentan poblaciones mas productivas (trucha arco iris) en términos de biomasa pero con individuos de talla asintótica y longevidad mas baja que en ambientes oligotróficos.

Para complementar este estudio se muestra el Cuadro 5.17 que muestra la composición en géneros de la comunidad fitoplanctónica presente en la laguna de Tres Palos en los estudios de 1975, 1995 y 1997 (Banderas, 1997). En ella se observa un cambio notable en el número de géneros fitoplanctónicos. Santoyo (1994) menciona que la composición de la comunidad de una o pocas especies indica que existe alta producción en el ecosistema, como es el caso de la laguna de Tres Palos. En la que a través de los años la cantidad de grupos de géneros ha disminuido notablemente en la columna de agua, lo que indica una alta producción primaria que como ya se mencionó, las concentraciones de clorofila *a* reflejan un sistema en estado  $\beta$ -Eutrófico.

Las coliformes (fecales y totales) no intervienen en la producción primaria del sistema, pero si es un indicador de la calidad del agua de la laguna, en el cuadro 5.1b) se observa que alcanza valores por encima de los valores establecidos por la (NOM-001-SEMARNAT-1996) lo cual hace riesgoso el contacto directo con el hombre.

Cabe aclarar que las coliformes (fecales y totales) como tal no son un factor que influya directamente en la productividad primaria, pero sí de manera indirecta ya que éstas hacen posible que los ciclos biogeoquímicos se lleven a cabo, poniendo a disposición los nutrientes requeridos por el fitoplancton, como por ejemplo el bióxido de carbono, amonio, nitratos, nitrógeno atmosférico, sulfatos, fosfatos, entre otros. Además son los responsables de los procesos de respiración que requiere de un consumo de oxígeno constante.



## CAPITULO 7. CONCLUSIONES

La calidad de agua de la laguna de Tres Palos, de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 es deficiente ya que los valores que presenta de Nitrógeno Total y DBO<sub>5</sub> supera en algunas ocasiones los valores máximos permisibles, sin embargo, el valor de coliformes fecales supera por mucho los valores máximos permisibles lo que sugiere no tener ningún tipo de contacto directo con el cuerpo de agua.

La laguna de Tres Palos obtuvo, de acuerdo a la concentración media de clorofila *a* (67 mg/m<sup>3</sup>), un índice trófico de 73, que la ubica en la categoría de β-Eutrófico, sin embargo en tiempos de estiaje (mayo) alcanzó la categoría de γ-Eutrófico con concentraciones de Clorofila *a* hasta de 243.5 mg/m<sup>3</sup>.

La presencia del huracán Paulina en la época de muestreo diluyó el sistema favoreciendo la disminución notoria de la concentración de clorofila *a*, el aumento de la salinidad y la transparencia en el sistema.

La concentración media de oxígeno disuelto (5.67 mg/l) expresa un 80% de saturación en el sistema sin variaciones anuales marcadas excepto en el mes de mayo de 1997. Esto refleja que predominan los procesos fotosintéticos sobre los respiratorios.

En marzo favoreció la acción del viento aumentando la zona aerobia en el sistema. En la época de calma, dada en el mes de mayo, se registraron las concentraciones más altas de nitratos. Por su parte el oxígeno disuelto también disminuyó de concentración en esta época produciendo un estado de anoxia generalizada, situación que provoca la acumulación de nitritos en el sistema que trae como consecuencia la mortandad de peces, ya que éste compuesto es tóxico para dichos organismos.

El sistema no carece de nutrientes ya que se mantienen de manera homogénea en la columna de agua con una tendencia a disminuir con el tiempo debido al efecto de dilución provocado por el huracán.

La concentración de clorofila *a* al igual que la concentración de oxígeno disuelto aumentan con la temperatura. De la misma manera, los procesos de respiración se favorecen al aumentar la temperatura, sin embargo a los dos metros de profundidad dominan los procesos fotosintéticos.

La temperatura disminuye con la profundidad de la laguna, sin embargo no se presenta estratificación térmica marcada del sistema.

La presencia de clorofila *a* es homogénea en la columna de agua, sin embargo, la mayor tasa fotosintética se presenta a los dos metros de profundidad teniendo fotoinhibición superficial.

En la superficie se presentan valores de pH alcalino (7.5 -10) provocado por las altas tasas fotosintéticas. El pH disminuye con la profundidad debido a los procesos de respiración.

El sistema se clasificó de acuerdo a su salinidad (3.8 ‰) como mesohalino, sin embargo, con la presencia del huracán se ubicó en la categoría polihalino ya que éste fenómeno meteorológico introdujo agua de mar incrementando así la concentración de salinidad que se mantuvo por poco tiempo (18 – 29 ‰).

En la laguna predominan las *Cianofitas* que son abundantes en sistemas limnéticos, sin embargo éstas tienen alta capacidad de adaptación a los cambios bruscos en el sistema.

Los principales factores ambientales; de acuerdo con el modelo de regresión múltiple; que influyen de manera significativa en la cantidad de biomasa del sistema (estimada por medio de la concentración de Clorofila *a*), está definida principalmente por el tiempo, le siguen la concentración de nitratos, los sólidos suspendidos totales, la visibilidad del disco de Secchi, y por último la salinidad.

Los nitritos; sustancias activas al azul de metileno que son fuente de fósforo (detergentes) y pH, son factores que no tienen influencia significativa en el análisis de regresión múltiple, pero si intervienen para generar un índice de correlación múltiple mayor para la clorofila *a*.

Por otro lado, el análisis de regresión múltiple aplicado a la producción primaria como variable de criterio, señaló a la conductividad y al fósforo total como las variables que definen a éste proceso.

Por su parte, la fotosíntesis bruta (cantidad total de energía absorbida por el organismo fitoplanctónico), tiene como factor de mayor influencia a la temperatura del aire, mientras que en el proceso de respiración el factor de influencia significativa es el oxígeno disuelto.

Por lo anterior se obtuvo que la dinámica de la laguna está definida principalmente por factores físicos como la visibilidad del disco de sechi, salinidad, sólidos suspendidos totales, teniendo un efecto indirecto sobre la distribución de los organismos fitoplanctónicos, por lo tanto, el sistema se ve beneficiado por acontecimientos meteorológicos fuertes como el huracán Paulina.

La laguna se deteriora aceleradamente debido a la intervención inadecuada del hombre y por su nula comunicación con el mar; lo único que la protege de un mayor deterioro es la presencia de fenómenos meteorológicos de gran magnitud.

Es difícil restaurar la laguna, pero si se puede mejorar su calidad para un desarrollo sustentable.

## RECOMENDACIONES

El hombre que participa activamente en su deterioro ve limitadas sus posibilidades de intervenir positivamente en la laguna. Algunas de estas intervenciones apoyadas en estructuras y acciones se presentan a continuación:

- Implantar sistemas de tratamiento de aguas residuales en zonas de vertido al río la Sabana y optimizar las plantas de tratamiento existentes. Esto disminuiría la entrada de nutrientes al río y consecuentemente a la laguna y de esta manera la acumulación de dichos nutrientes sería menor y así daría oportunidad a la comunidad fitoplanctónica de consumir el recurso existente y producido en el sistema. Por otra parte, se disminuiría la entrada de cantidades altas de coliformes fecales y totales reduciendo el riesgo en el consumo de pescado y sería confiable tener algún contacto con el agua de la laguna haciéndola atractiva para el turismo, lo que elevaría el nivel económico de los ribereños.
- Las plantas de tratamiento pueden complementarse con lagunas de estabilización como tratamiento terciario, Vega (2004) mostró que al utilizar lirio acuático en lagunas de estabilización se tiene una mayor remoción de nitrógeno, logrando una mayor estabilización de material contaminante.
- Poner un área de tule en la zona de desembocadura del río la Sabana que actúe como filtro para disminuir la entrada de nutrientes a la laguna, cosechando éste de manera periódica. Este se complementaría con el punto anterior, ya que retendría el arrastre de contaminantes (compuestos de nitrógeno y fósforo) puntuales en el río la Sabana y las cantidades de nutrientes que no fueron removidos en el tratamiento del agua residual.
- Los modelos obtenidos en este estudio pueden utilizarse para ubicar zonas críticas, o bien tiempos en los que se pueden llevar a cabo nuevos muestreos para nuevos estudios, o bien pueden ser utilizados como base de otros modelos.
- Para tener una mejor descripción del sistema es necesario que se realicen muestreos más continuos y por un periodo de tiempo mayor al de este estudio para definir el comportamiento del fitoplancton en las distintas épocas del año y así determinar las medidas más adecuadas de conservación y uso del sistema.

- Se propone hacer una organización de los habitantes y capacitarlos para darle uso a este recurso acuático con actividades artesanales. Es decir, hacer uso del tule cosechado, ya que éste es útil en la fabricación de sillas, periqueras, sombreros, entre otros, que le darían mayor atracción al turismo y por consecuencia la economía de la localidad aumentaría mejorando la calidad de vida de las familias.
  
- Analizar el fitoplancton para darle uso como alimento balanceado. Con esto, no hay reciclaje de nutrientes, y ayudaría a disminuir los nutrientes acumulados tanto en la columna de agua como en el sedimento, esta también ayudaría a la transparencia de la laguna y por lo tanto favorecería los procesos fotosintéticos habiendo mayor producción y mayor cosecho por lo tanto mayor disminución de nutrientes en la laguna.
  
- Realizar campañas para una mejor cultura de limpieza para los habitantes del lugar, como el no tirar basura, no arrojar combustibles a la laguna, mantener limpia el área de viviendas para poder mantener en buen estado la localidad dando oportunidad a la laguna de restaurarse con menor dificultad, además, se hace más atractiva para el turismo.
  
- Llevar a cabo programas de capacitación de la explotación adecuada en cuestiones pesqueras y acondicionar la zona de manera adecuada para un turismo no destructivo del medio ambiente.
  
- Capacitar a los agricultores para llevar a cabo sus cultivos con tecnologías adecuadas para evitar la aplicación de fertilizantes de manera excesiva y en tiempos inadecuados. Esto disminuiría el aporte de nutrientes tanto de nitrógeno como de fósforo a la laguna. Capacitarlos también para que los que tengan las condiciones adecuadas, produzcan su propio fertilizante (composta) para disminuir el consumo de los fertilizantes químicos.
  
- Propongo que se hagan muestreos mas intensos para poder definir con mayor exactitud la dinámica del fitoplancton y así conocer su comportamiento estacional.

## CAPITULO 8. BIBLIOGRAFÍA

- Abarzúa, R. M., Basulto, M. S. y Urrutia, B. H. 1995. RELACIÓN ENTRE LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE FITOPLANCTON Y BACTERIOPLANCTON HETEROTRÓFICO EN AGUAS SUPERFICIALES DEL GOLFO DE ARAUCO, CHILE. Universidad de Concepción, Chile.  
<http://www.scielo.cl/pdf/imar/v23/art04.pdf>
- Aldeco, J. y Salas, D. D. 1994. GEOLOGÍA. **En:** De La Lanza E., G. y Martínez, C., C. LAGUNAS COSTERAS Y EL LITORAL MEXICANO. 1ª edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 51 p.
- Álvarez, A. A. y Gaitán, M. J. 1994. GEOLOGÍA. **En:** De La Lanza E., G. y Martínez, C., C. LAGUNAS COSTERAS Y EL LITORAL MEXICANO. 1ª edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 74 p.
- Arredondo, F. J., Ponce, P. J., Luna, R. C., Coronel, E. C. y Palacios, S. C. 1997. MANEJO EXTENSIVO E INTENSIVO DE LA PESCA EN LA LAGUNA DE TRES PALOS. **En:** IMTA-CNA. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO LA SABANA-LAGUNA DE TRES PALOS. Informe Final HC-9725. Coordinación de Tecnología Hidráulica; Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. Vol.II. Cap.9.
- APHA, 1992. STANDARD METHODS. FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Editorial American Public Health Association. Washington, USA.
- Banderas, T. A., 1997. CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ECOSISTEMA RÍO LA SABANA-LAGUNA DE TRES PALOS; MEDIDAS DE SANEAMIENTO, RESTAURACIÓN INTEGRAL Y CONSERVACIÓN DEL ECOSISTEMA. **EN:** IMTA-CNA. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO LA SABANA-LAGUNA DE TRES PALOS. Informe Final HC-9725. Coordinación de Tecnología Hidráulica; Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. Vol.II. Cap.1.
- Banderas, T. A. 2000. LIMNOLOGÍA Y RESTAURACIÓN DE CUERPOS DE AGUA. Apuntes de Clase. 3<sup>er</sup>. Semestre de la Maestría en Ingeniería Ambiental. DEPMI-UNAM. 75p.
- Barrera, H. R. 1975. CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL PLANCTON DE LA LAGUNA DE TRES PALOS, GUERRERO. Tesis Profesional, Instituto Politécnico Nacional. Escuela de Ciencias Biológicas. 69p.
- Campos, A. 1998. PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. México. 410p

- Carlson, R. E. 1977. A TROPHIC STATE INDEX FOR LAKES. *Limnology and Oceanography*. 22 (2): 361-368.
- Cifuentes, L. J., Torres, G. M. y Frías, M. M. 1997. EL OCEANO Y SUS RECURSOS II. LAS CIENCIAS DEL MAR: OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA Y OCEANOGRAFÍA QUÍMICA. Fondo de Cultura Económica. México. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/html/sec-17.html>.
- Conde, D., Rodríguez-Gallegos, L. y Rodríguez, L. 2002. ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LAS INTERACCIONES BIOLÓGICAS ENTRE LAS LAUNAS Y EL OCÉANO DE LA COSTA ATLÁNTICA URUGUAYA. [http://limno.fcien.edu.uy/research/freplata\\_1rocha.htm1/](http://limno.fcien.edu.uy/research/freplata_1rocha.htm1/)
- Contreras E. F., Castañeda, L. O., García-Nagaya, A. y Gutiérrez, M. F. 1995. NUTRIENTES EN 39 LAGUNAS COSTERAS MEXICANAS 1. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Depto. De Hidrobiología. <http://rbt.ots.ac.cr/revistas/44-2/contr.htm>.
- Contreras E. F. 1994. LA CLOROFILA a COMO BASE PARA UN ÍNDICE TRÓFICO EN LAGUNAS COSTERAS MEXICANAS. *An. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM*. 21 (1-2): 55-66
- Contreras E. F. 1993. ECOSISTEMAS COSTEROS MEXICANOS. CONABIO-UNAMI, México, 415p.
- Cortés, P. P. 1994. EL EMPLEO DE DAPHNIA COMO FILTRO BIOLÓGICO PARA LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES CONTAMINANTES. Tesis Profesional. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 51p.
- Cruz, L. S. 2001. LAGUNAS COSTERAS, ESPEJOS DE LA VIDA AMENAZADOS. <http://www.jornada.unam.mx/2001/abr01/010430/cien-galeria.html>
- Czitron, B. S. 2004. APROVECHAN ENERGÍA DEL OLEAJE PARA SANEAR LAGUNAS COSTERAS. <http://www.invides.com.mx/forma01.cfm?id=608&publicant=Jul%202004>
- Daniel, W. W. 2002. BIOESTADÍSTICA. 4ª Edición. Ed. Limusa Wiley. México. 905 p.
- Dawes, C. J. 1986. BOTÁNICA MARINA. 1ª edición. Ed. LIMUSA. México.
- De La Lanza, E. G. y Martínez C. C. 1994. LAGUNAS COSTERAS Y EL LITORAL MEXICANO. 1ª edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 525 p.
- De La Lanza, E. G. 1994. QUIMICA. **En:** De La Lanza E., G. y Martínez, C., C. LAGUNAS COSTERAS Y EL LITORAL MEXICANO. 1ª edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 72 p.

- Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. 2002. MANUAL DE ECOLOGÍA MICROBIANA. PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS:LUZ. Universidad de Puerto Rico. <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-luz.pdf>
- Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. (2). 2002. MANUAL DE ECOLOGÍA MICROBIANA. NUTRIENTES Y GASES: OXÍGENO DISUELTOS. Universidad de Puerto Rico. <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-oxigeno.pdf>
- GCBB-VI. 2005. GENETICS AND MICROBIOLOGY RESEARCH GROUP. <http://www.unavarra.es/genmic/curso%20microbiología%20general/50-ciclos%20biogeoquímicos.htm>
- George, D. G. 1981. THE SPATIAL DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE SOUTH BASIN OF WINDERMERE. *Freshwat. Biol.* 11: 405-424.
- Goldman, Ch. R. 1965. PRIMARY PRODUCTIVITY IN AQUATIC ENVIRONMENTS. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London. 464 p.
- González-Villela, R. 1991. MODELO DESCRIPTIVO Y PREDICTIVO DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE UN CUERPO DE AGUA DE ALTA MONTAÑA TROPICAL. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias. UNAM. 73 p.
- González-Villela, R. 1996. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOGRÁFICOS (ALTITUD, LATITUD, CLIMA, ETC.), EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS, Y DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE ORGANISMOS MÁS SENSIBLES A ÉSTOS. Examen general de conocimientos, para el grado de doctor en ciencias. UNAM. 58 p.
- Greulach, V. y Adams, E. 1990. LAS PLANTAS. INTRODUCCIÓN A LA BOTÁNICA MODERNA. 1ª. Edición. Ed. Limusa. México.
- Hernández, G. 2002. Libro BOTÁNICA On Line. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes – Mérida - Venezuela. [www.forest.ula.ve/-rubenhg](http://www.forest.ula.ve/-rubenhg).
- Herrera-Silveira, J. 1994. CORRELACIONES DE PARÁMETROS HIDROBIOLÓGICOS DE LA LAGUNA DE CELESTÚN, YUCATÁN. An. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
- IMTA-CNA. Enero 1997. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO LA SABANA-LAGUNA DE TRES PALOS. Informe Final HC-9725. Coordinación de Tecnología Hidráulica; Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. 291 p.
- IMTA. Diciembre 1998. DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE BIORREMEDIACIÓN Y SANEAMIENTO DE LA LAGUNA DE TRES PALOS, ACAPULCO, GUERRERO. Informe Final HC-9825. Volumen 1. Coordinación de Tecnología Hidráulica, Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. 310 p.
- Johnson, D. E. 2000. METODOS MULTIVARIADOS APLICADOS AL ANÁLISIS DE DATOS. Ed. Internacional - Thomson Editores. México. 85p



- Jorgensen, E. G. y Seemann-Nielsen, E. 1965. ADAPTATION IN PLANKTON ALGAE. **En:** PRIMARY PRODUCTIVITY IN AQUATIC ENVIRONMENTS. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London. 9 p.
- Jorgensen, S. E. y Vollenweider R. A. 1988. DIRECTRICES PARA LA GESTIÓN DE LAGOS. Volumen 1. Comité Internacional de Ambientes Lacustres. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 176 p.
- Kiely, G. 1999. INGENIERÍA AMBIENTAL. FUNAMENTOS, ENTORNOS, TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE GESTIÓN. 1ª. Edición. Editorial Mc Graw Hill. España. 1331p.
- López, R. G., 1997. CONTEXTO SOCIAL PARA EL SANEAMIENTO DE LA CUENCA DEL RÍO LA SABANA-LAGUNA DE TRES PALOS. **En:** IMTA-CNA. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO LA SABANA-LAGUNA DE TRES PALOS. Informe Final HC-9725. Coordinación de Tecnología Hidráulica; Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. Vol.II. Cap.6.
- Margalef, R. 1983. LIMNOLOGÍA. Barcelona. Ed. Omega. 1010 p
- Marshall D. W. 1987. BIOLOGÍA DE LAS ALGAS, ENFOQUE FISIOLÓGICO. Ed. Limusa. México. 518 p.
- Moeller, G. 2000. PROCESOS BIOLÓGICOS DE ESTABILIZACIÓN. DEPURACIÓN NATURAL. Apuntes de Clase. 2º. Semestre de la Maestría en Ingeniería Ambiental. DEPEFI-UNAM, Campus Morelos. 30p.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. NORMA OFICIAL MEXICANA, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Aclaración 30-Abril-1997). DOF 23-Abril-2003.
- Ondarza, R. N. 1996. BIOLOGÍA MODERNA. Ed. Trillas. México. Cap. 8 y 9.
- Ortiz, R. J. 2005. EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL LAGO DE XOCHIMILCO, MÉXICO. Tesis de Licenciatura (Biólogo)-UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 105p.
- Pedlosky, J. 1979. GEOPHYSICAL FLUID DYNAMICS. Spring-Verlag, Nueva York.
- Pelczar M. MICROBIOLOGÍA. Editorial Mc Graw-Hill. México.
- Perdomo C. H., Casanova O. N. y Ciganda V. S. 2001. CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON NITRATOS Y COLIFORMES EN EL LITORAL SUDOESTE DEL URUGUAY. Agrociencia. Vol. V. No. 1. pág. 10-22

- Pérez, B. L. 1999. CONCENTRACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DEL FÓSFORO EN SEDIMENTOS DE DOS LAGUNAS COSTERAS DEL NOROESTE DE MÉXICO. Tesis de Maestría. (Oceanografía Química)-UNAM-Colegio de Ciencias y Humanidades-Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado. 67p.
- Platt, T., Dickie, M. L. y Trites W. R. 1970. SPATIAL HETEROGENEITY OF PHYTOPLANKTON IN A NEAR-SHORE ENVIRONMENT. J. Fish. Res. Bd. Can. 27: 1453 – 1473.
- Powell, T. M., P. J. Rickerson, T. M. Dillon, B. T. Agee D. A., Godden, y B., J. Dozier. 1975. SPATIAL SCALES OF CURRENT SPEED AND PHYTOPLANKTON BIOMAS FLUCTUATIONS IN LAKE TAHOE. Science. 189: 1088 – 1090.
- Radach, G. 1982. DYNAMIC INTERACTIONS BETWEEN THE LOWER TROPHIC LEVELS OF THE MARINE FOOD WEB IN RELATION TO THE PHYSICAL ENVIRONMENT DURING THE FLADEN GROUND EXPERIMENT NETH. J. Sea Res. 16: pág. 231 – 264.
- Romero, R. J. 1998. ACUITRATAMIENTO POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. Tercera Edición. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Raven, P. H. 1991. BIOLOGÍA DE LAS PLANTAS. Tomo I. España
- Reid, G. K. y Wood, R. D. 1976. ECOLOGY OF INLAND WATERS AND ESTUARIES. 2ª edición. U.S.A. 485 p.
- Rojas, E. M., Bogdanov, B. I. y Montiel, G. R. 1997. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, PROPUESTA DE RESTAURACIÓN Y TRABAJOS DE CAMPO DE EL ÁREAS DETERIORADAS DEL RÍO LA SABANA, TRAMO LA VENTLAGUNA DE TRES PALOS, ACAPULCO GUERRERO. **En:** IMTA-CNA. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO LA SABANA-LAGUNA DE TRES PALOS. Informe Final HC-9725. Coordinación de Tecnología Hidráulica; Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. Vol.II. Cap.4.
- Sánchez-Carrillo S. y Álvarez-Cobelas M. 2001. NUTRIENT DYNAMICS AND EUTROPHICATION PATTERNS IN A SEMI-ARID WETLAND: THE EFFECTS OF FLUCTUATING HYDROLOGY. Water, Air and Soil Pollution. 131: 97-118.
- Sánchez, R. M. 2001. VARIACIÓN DE LA CLOROFILA A FITOPLANCTÓNICA Y SUS MEANISMOS DE CONTROL EN UN LAGO ATALASOHALINO TROPICAL. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 66p.

- Santoyo, R. H. 1994. FITOPLANCTON Y PRODUCTIVIDAD. **En:** De La Lanza E. G. y Martínez, C. C. 1994. LAGUNAS COSTERAS Y EL LITORAL MEXICANO. 1ª edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 24 p.
- Silva J. y Santos R. 2004. CAN CHLOROPHYLL FLUORESCENCE BE USED TO ESTIMATE PHOTOSYNTHETIC PRODUCTION IN THE SEAGRASS *ZOSTERA NOTII*? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 307: 207-216.

Scasso, R. F. 1996. PRODUCTIVIDAD ICTICA EN LAGOS DE DIFERENTE ESTADO TRÓFICO RECOMENDACIONES DE CONSERVACIÓN PARA PESCA DEPORTIVA. Tesis Para obtener el grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Concepción, Chile.  
<http://limno.fcien.edu.uy/research/resflavio.html>

- Sobrino C., Neale P. y Lubián L. 2005. INTERACTION OF UV RADIATION AND INORGANIC CARBON SUPPLY IN THE INHIBITION OF PHOTOSYNTHESIS: SPECTRAL AND TEMPORAL RESPONSES OF TWO MARINE PICOPLANKTERS. Photochemistry and Photobiology. 81: 384-393.
- StatSoft. 1997. GENERAL CONVENTIONS AND STATISTICS I. STATISTICA Version 5. VOLUME 1. U.S.A. Cap. 12.

Vela, V.S., Robledo, M.M., Gutiérrez, M. P. y Bautista, C. C. 2004. REMOCIÓN DE NITRÓGENO POR LIRIO ACUÁTICO, EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.  
<http://www.cocyten.gob.mx/desc/ARTICULO2004CN15M.pdf>

- Wetzel, G. R. 1981. LIMNOLOGÍA. Ed. Omega. Barcelona. 679 p.
- Wetzel, G. R. 2001. LIMNOLOGY. LAKE AND RIVER ECOSYSTEMS. 3th. Edición. Academic Press. California. 1006p.