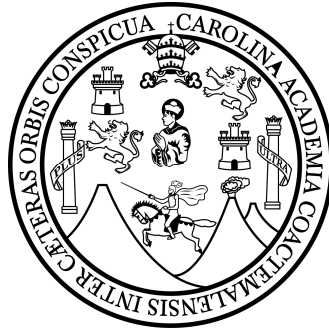


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS**



**SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL
AGUA DEL LAGO DE AMATITLÁN CON PARÁMETROS QUE
DETERMINAN SU CONTAMINACIÓN SECUENCIAL**

ESTUDIOS ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS

-ERIS-

POR EL INGENIERO CIVIL

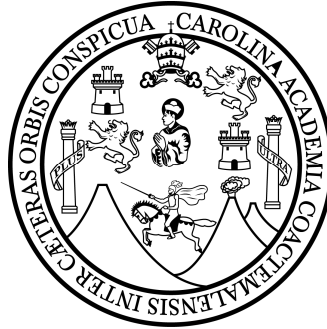
CARLOS ENCARNACIÓN TETZAGUIC CAR

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA SANITARIA
(*MAGÍSTER SCIENTIFICAE*)**

Guatemala, septiembre de 2003

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA**



MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olimpo Paiz
VOCAL II:	Lic. Amaham Sánchez Alvarez
VOCAL III:	Ing. Julio Davil Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

DIRECTOR ERIS

Ing. MsC. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	Ing. MsC. Zenon Much Santos
EXAMINADOR	Ing. MsC. Joram Matías Gil Laroj
EXAMINADOR	Dr. Elfego Orozco

ASESOR DE ESTUDIO ESPECIAL

Ing. MsC. Zenon Much Santos

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como propósito dar a conocer los resultados de la investigación aplicada al análisis de datos de calidad del agua del lago de Amatitlán a nivel superficial, entre los periodos de 1969 a 1976 y de 1997 al año 2001. Los datos fueron tomados de cuatro estaciones de monitoreo comunes en los periodos analizados, siendo estos: La desembocadura del río Villalobos, La salida al río Michatoya, centro lado Oeste y centro lado Este del lago. Los parámetros analizados son: coliformes totales y fecales, sólidos totales y disueltos, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo.

El informe se basa en información general del lago y su cuenca (biología, topografía, clima, flora y fauna, ubicación de las estaciones de monitoreo en los periodos analizados, etc), la relación física, química y biológica existente entre los parámetros analizados, breve descripción del universo de estudio y de la metodología utilizada.

Las sistematización y análisis proporciona los resultados obtenidos mediante correlación y regresión lineal, gráficos del comportamiento a través del tiempo y el análisis esquemático de variación espacial promedio de los parámetros antes mencionados.

El comportamiento de cada parámetro se refiere a las tendencias que se han tenido entre el primer y segundo período. La variación espacial promedio de cada parámetro se refiere a la ubicación de isoclinas en esquemas sin escala, tomando como base las cuatro estaciones analizadas, con lo cual se visualiza los puntos de mayor contaminación en el lago.

Finalmente se describe en forma concreta las conclusiones derivadas de los objetivos propuestos en este trabajo, las referencias bibliográficas, y los anexos que contienen la información digitalizada y ordenada por estación, época y año, gráficos de dispersión y del comportamiento observado.

2. JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua del lago de Amatitlán se ha determinado a través del tiempo por estaciones de monitoreo; inicialmente (1969 y 1970) fueron seis estaciones, luego entre 1974 y 1976 fueron ocho estaciones y actualmente se monitorean únicamente cuatro. Con el tiempo también se ha hecho necesaria la determinación de más parámetros de calidad del agua, debido principalmente al crecimiento urbano e industrial en la cuenca.

Sin embargo, no se cuenta con un análisis estadístico y del comportamiento que han tenido los parámetros de calidad del agua en el lago y la posterior interpretación de ese análisis con el fin de tomar decisiones (autoridades, profesionales y entidades privadas), y acciones que tengan como fin el mejorar, minimizar o reducir los contaminantes en el lago de Amatitlán.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios realizados que describen en forma cuantitativa el comportamiento de ciertos parámetros de calidad del agua del lago de Amatitlán, han sido interpretados a manera particular por cada autor.

Sin embargo no existe una sistematización e interpretación estadística de esta información para establecer el comportamiento de parámetros fisicoquímicos y biológicos a efecto de tomar medidas a corto y mediano plazo. Por lo anterior, ¿Será posible que ciertos parámetros físicos, químicos y biológicos del lago de Amatitlán se incrementaron del año 1969 al año 2001 y presentan un comportamiento estadístico que pueda correlacionarse entre los diferentes parámetros?

4. HIPÓTESIS

Existe positivamente correlación lineal y variación espacial de acuerdo a los comportamientos de parámetros de calidad del agua basados en los datos de los años 1969 a 1976 y 1997 a 2001.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Sistematizar y realizar el análisis estadístico, del comportamiento y variación espacial de parámetros de calidad del agua del lago de Amatitlán entre los años 1969 al 1976 y 1997 al 2001.

5.2 Específicos

- Ordenar de manera lógica la información de los parámetros de calidad del agua.
- Aplicar métodos estadísticos de correlación y regresión lineal
- Graficar los registros de los parámetros en todo el tiempo investigado.
- Describir el comportamiento y la variación espacial de los parámetros
- Aportar una base de datos sistematizada al laboratorio de microbiología del agua de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Descripción general del lago

El lago de Amatitlán se ubica en el municipio del mismo nombre, en el departamento de Guatemala y es el límite político entre los municipios de Villa Canales, Villa Nueva y San Miguel Petapa; tiene un área aproximada de quince kilómetros cuadrados, y sus coordenadas geodésicas son las siguientes: Latitud Norte 14°23'25" y Longitud Oeste 90°41'25". (García, 2002)

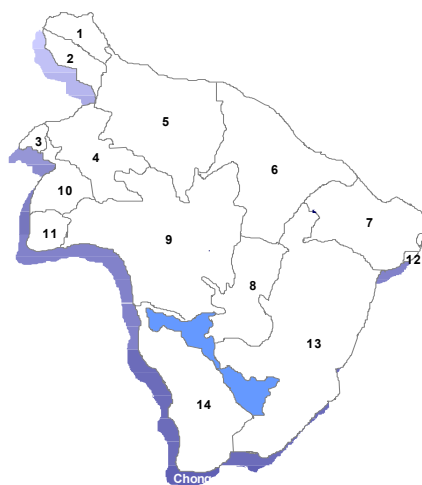
La cuenca del lago tiene aproximadamente 396 kilómetros cuadrados y se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre. Está formada por varias subcuencas, las que finalmente convergen en el río Villalobos en el lado norte del lago. Los ríos tributarios del río Villalobos son: Platanitos, Pinula, Las Minas, Tuluja, El Bosque, Molino, San Lucas y Parrameño. Los municipios ubicados dentro del área de la cuenca se muestran en el esquema 1 (AMSA, Volumen I, 2002). En lo referente al historial de estaciones de monitoreo en el lago se tiene:

- A finales de los años sesenta se tenían seis estaciones: dos en el lado Este y cuatro en el lado Oeste (esquema 2).
- Entre 1974 y 1976 se tuvieron ocho estaciones: Tres en el lado Este y cinco en el lado Oeste (esquema 3). (Tabarini, 1981)
- Actualmente (de 1997 a la fecha) se monitorean cuatro estaciones: Una en el lado Este y tres en el lado Oeste (esquema 4). (AMSA, 2003)
- Al comparar la ubicación de estaciones en los tres esquemas anteriores, se localizan cuatro comunes en las tres etapas del historial, las cuales posteriormente se utilizarán para el análisis de esta investigación.

6.2 Factores influyentes de la situación actual del lago

El lago de Amatitlán está siendo adversamente influenciado por la expansión industrial y demográfica de la parte sur de la ciudad de Guatemala. Entre los factores y usos inadecuados que afectan las condiciones de calidad del agua del lago se encuentran los siguientes: (García, 2002)

1. Crecimiento de la población en la cuenca
2. Localización de la mayoría de industrias de la capital
3. Uso inadecuado del suelo
4. Bajos niveles de educación y concientización ambiental
5. Bajo control administrativo y legal de los usos del agua, suelo y aire
6. Sobre explotación del agua superficial y subterránea
7. Residuos domiciliarios e industriales descargados a ríos tributarios
8. Las nuevas urbanizaciones dejan al suelo sin cobertura vegetal
9. En época de lluvias no existe un control sobre el uso y aplicación de plaguicidas, funguicidas, etc.

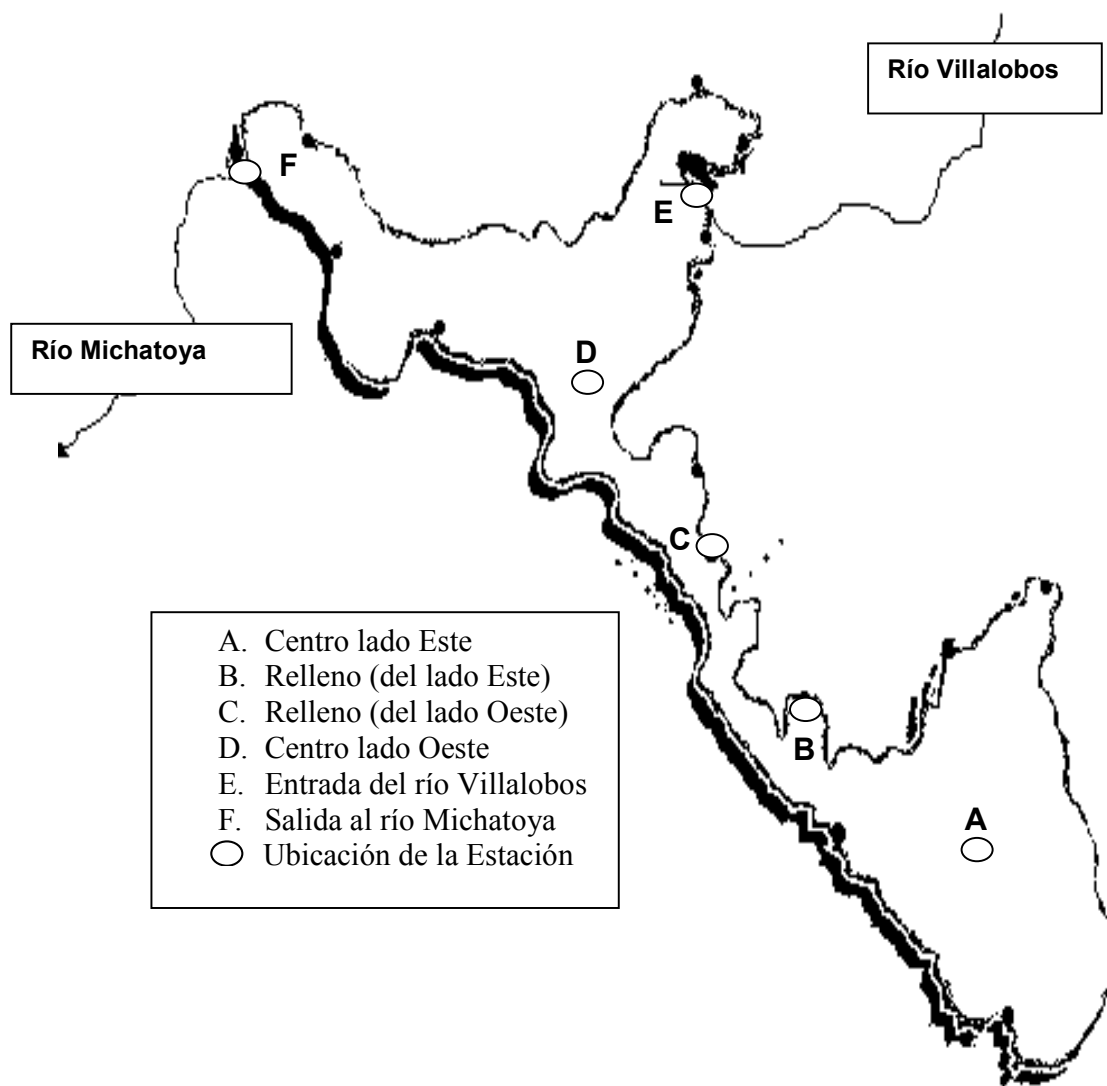


Esquema No. 1: Localización de los municipios ubicados dentro de la cuenca del lago de Amatitlán.
Fuente: Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del Lago de Amatitlán – AMSA-.

Municipio	Área total Km ²	Área dentro de la cuenca Km ²
1 San Pedro Sacatepéquez	30.00	5.89
2 Santiago Sacatepéquez	15.00	5.74
3 San Bartolomé Milpas Altas	7.00	1.77
4 San Lucas Sacatepéquez	24.00	19.24
5 Mixco	99.00	45.26
6 Guatemala	228.00	42.65
7 Santa Catalina Pinula	48.00	25.18
8 San Miguel Petapa	20.14	20.14
9 Villa Nueva	75.00	73.42
10 Santa Lucía Milpas Altas	19.00	9.83
11 Magdalena Milpas Altas	8.00	5.94
12 Fraijanes	91.00	2.65
13 Villa Canales	353.00	76.34
14 Amatitlán	114.00	32.15
Cuerpo del lago	15.11	15.11

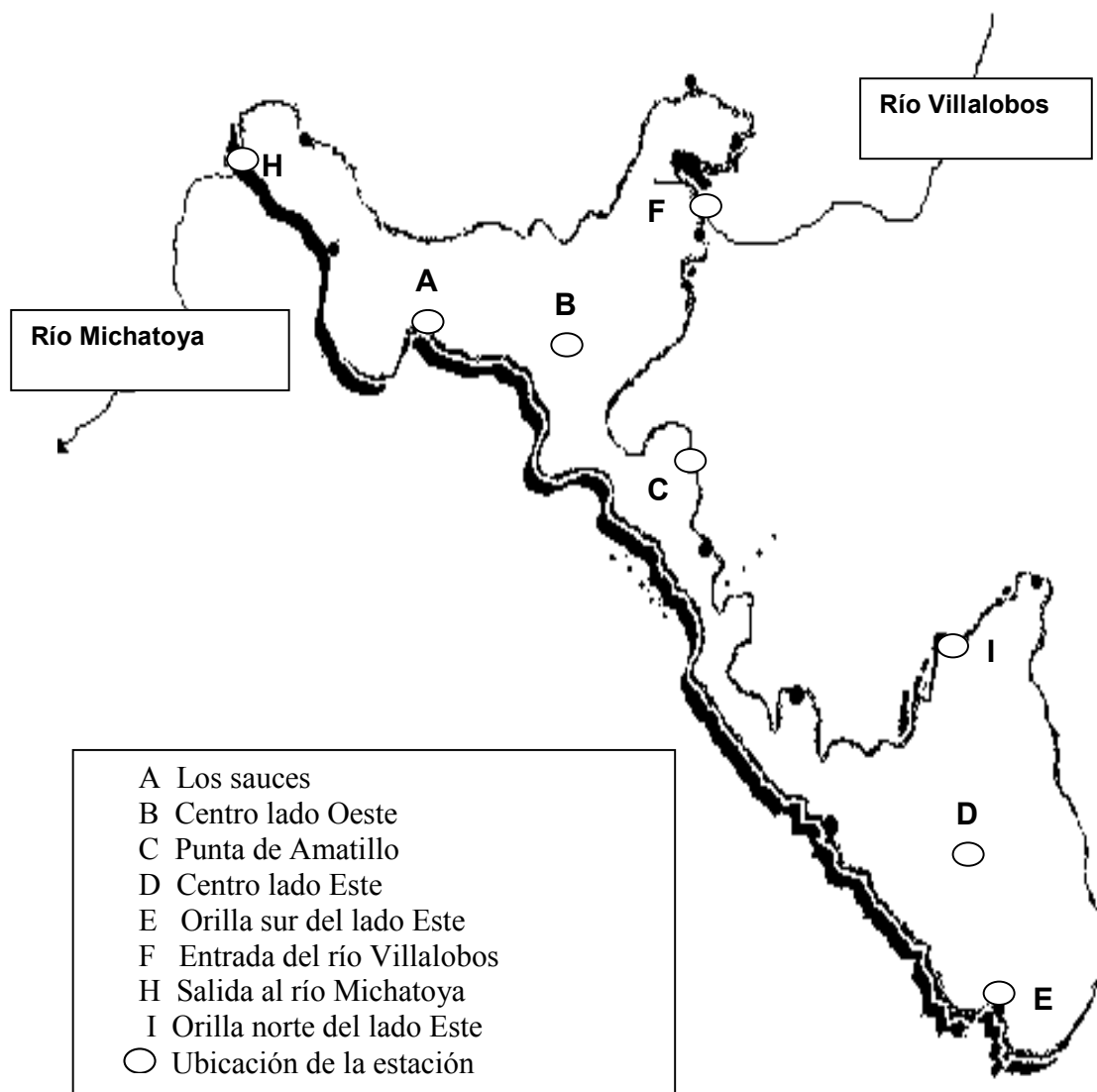
Cuadro No.1: Listado de municipios y su área comprendida dentro de la cuenca del lago de Amatitlán
Fuente: Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del Lago de Amatitlán – AMSA-.

Esquema No. 2
Ubicación de las estaciones de monitoreo entre los años 1969 y 1970 en el lago de Amatitlán



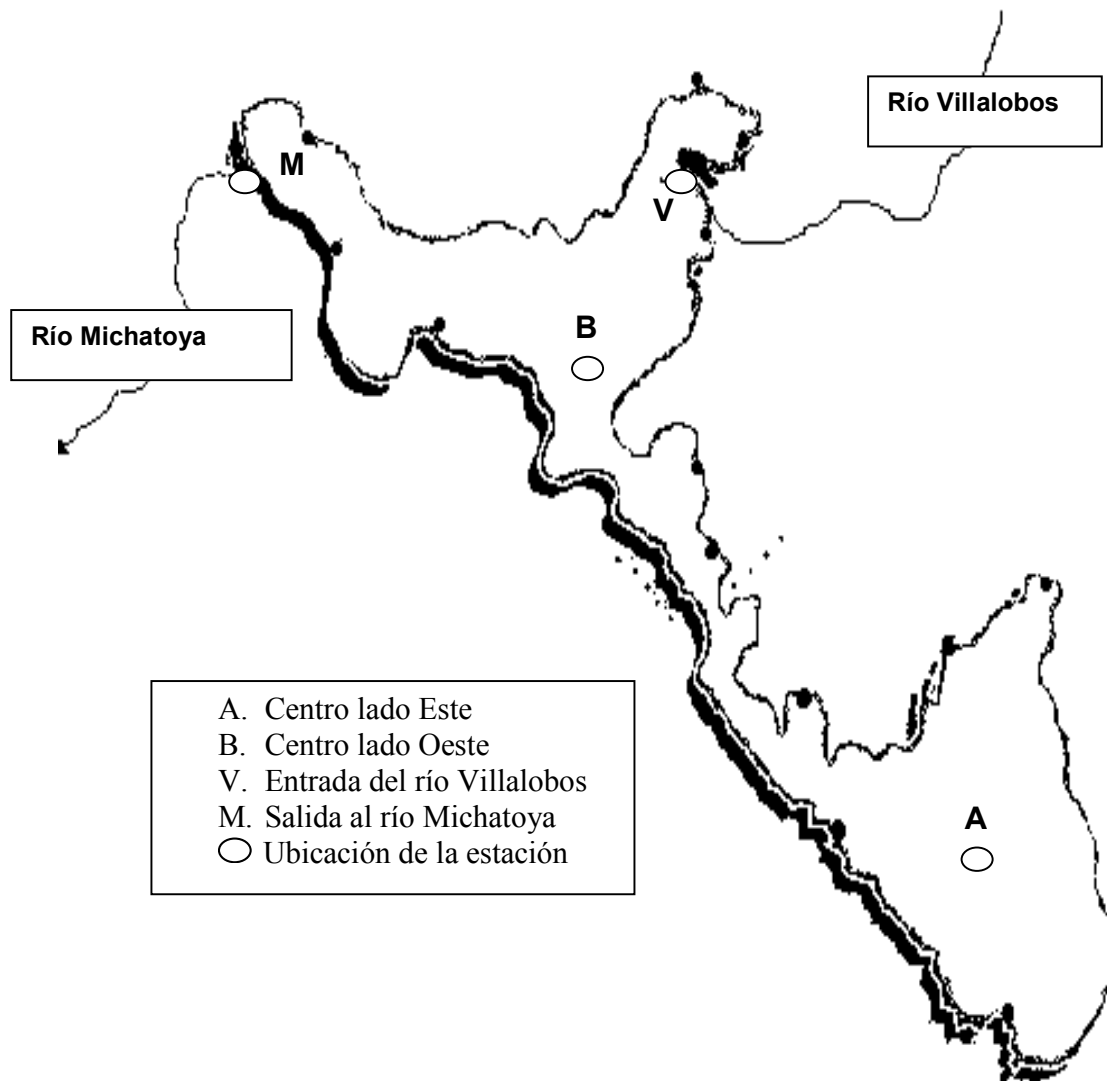
Fuente: Laboratorio de química y microbiología del agua, centro de investigaciones, facultad de ingeniería, universidad de San Carlos.

Esquema No. 3
Ubicación de las estaciones de monitoreo en la década de los años setenta en el lago de Amatitlán



Fuente: Estudio "Eutrofización del lago de Amatitlán", Dra. Alba Tabarini de Abreu, marzo 1 981

Esquema No. 4
Ubicación de las estaciones de monitoreo del año 1 997 a la fecha en el lago de Amatitlán



Fuente: Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del Lago de Amatitlán – AMSA-.

Como puede notarse en los tres esquemas anteriores, con el tiempo han desaparecido algunas estaciones y otras se han mantenido en los mismos lugares hasta la fecha. Por lo anterior, se tiene que: Del esquema 2 las estaciones A, D, E, F; del esquema 3 las estaciones D, B, F, H; del esquema 4 las estaciones A, B, V y M, fueron las tomadas para la investigación.

6.3 Descripción de la cuenca

6.3.1 Topografía

Está caracterizada por escarpes, valles ondulados y pequeñas áreas planas de suelo, lo cual influye en un intenso proceso erosivo, transporte y deposición del material erosionado. Las alturas promedio sobre el nivel del mar varían desde los 1188,0 hasta los 2400,0 metros (AMSA, Volumen I, 2001).

6.3.2 Flora y fauna

Desde hace unos 25 años se han venido deforestando grandes áreas de terreno, lo cual provoca falta de vegetación y por consiguiente de fauna. Dicha deforestación se debe generalmente a invasiones de familias en áreas cercanas a la cuenca. La vegetación nativa del área era: pinos, curatela o lengua de vaca, encino, nance y ficus o amates. En partes altas (donde el hombre no ha llegado a invadir), se pueden contemplar ciertos animales pequeños como ardillas, conejos, serpientes, ratones y búhos (AMSA, Volumen I, 2001).

6.3.3 Clima

Es variable, debido a las diferencias de altura que se registran en la cuenca. Según registros meteorológicos de la estación climatológica cercana al lago, de un registro de 22 años se tiene en promedio: 930,0 mm por año de precipitación y 24,0°C por año de temperatura (INSIVUMEH, 2003).

6.3.4 Situación industrial

Las actividades más comunes dentro de la cuenca son:

1. Beneficios de café.
2. Industrias textiles, metalúrgicas, azucareras, químicas.
3. Granjas.
4. Explotación de canteras de materiales no ferrosos.

La composición de los desechos industriales es variada y algunas son catalogadas como altamente tóxicas. Pocas industrias cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales y disposición correcta de los desechos que generan. (García, 2002)

6.4 Biología del lago

6.4.1 Fitoplancton y algas

El fitoplancton es una diversidad de organismos que se encuentran en suspensión y son de gran proliferación sobre todo por la acumulación de nutrientes en la parte superior del lago (*epilimnion*) durante los períodos de altas temperaturas. (García, 2002)

En el lado oeste del lago hay mayor cantidad de especies de algas cianofíceas (algas verdeazules) y los géneros más representativos como: *Microcystis Aeruginosa*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Merismopedia*, entre otras. Generalmente estas algas son indicadoras de contaminación orgánica, tienen un gran significado ecológico por su toxicidad, ya que pueden causar la muerte de peces y humanos (AMSA, Boletín informativo 2002). Por otra parte, las algas verdes son las iniciadoras de la cadena alimenticia, pueden ser fuente de oxígeno para las bacterias aeróbicas y a las bacterias anaeróbicas por la materia orgánica que consumen. (AMSA, Volumen I, 2002)

6.4.2 Plantas acuáticas

En el lago suelen encontrarse los siguientes tipos de plantas acuáticas:

- *Egeria densa*, es una planta flotante y su biomasa es producida cerca de la superficie de las aguas donde la planta puede interferir con la actividad humana. Además dentro de la cuenca se toman como especies invasoras ya que crecen en la orilla de los lagos y sucesivamente van robando espacio al cuerpo de agua, debido a que al morir se apilan en la orilla permitiendo que se forme suelo donde antes no lo había. (García, 2002)
- *Hydrilla verticillata*, poseen fragmentos vegetativos, particularmente aquellos con dobles nudos, raíces y retoños. (García, 2002)

La desventaja de algunas plantas surge cuando en su descomposición incorpora una carga orgánica adicional a la columna de agua que puede resultar en un desequilibrio del oxígeno disuelto en el hipolimnion, con la consiguiente alteración de la cadena trófica (mortalidad de peces) y problemas en la calidad del agua. Las poblaciones problemáticas son usualmente controladas con herbicidas y ocasionalmente con una carpa herbívora. (AMSA, Volumen I, 2002)

6.4.3 Ictiofauna (Peces)

El punto de mayor densidad poblacional de peces es en las riberas del lado oeste, específicamente en la desembocadura del río Villalobos. El pez que más se ha cuantificado es el *cichlasoma managüense* (pez tigre o guapote) que constituye el 95% de la pesca del lago. Otro de los especímenes que se encuentran en gran proporción es el *cichlasoma macracanthum* (mojarra negra), pez omnívoro de carne nutritiva y pocas espinas. (Referencia bibliográfica No.9)

6.5 Descripción de la relación física, química y biológica entre los parámetros analizados

6.5.1 Nutrientes

Se entiende por nutrientes, a la cantidad de nitrógeno (N) y fósforo (P) y sus formas más simples y complejas (nitratos, nitritos, fosfatos) encontrados en cuerpos naturales de agua. El aumento de éstos es esencial para el crecimiento de algas, y su limitación ó ausencia el factor que controla su tasa de crecimiento (Romero Rojas, 2002).

Basterrechea (1984), indicó que el aumento de las cargas de nitrógeno y fósforo son debidas al rápido crecimiento demográfico (desechos, pérdida de los bosques y pavimentación); la industrialización (proceso de alimentos y preparación de ácido fósforico) y la intensificación de la agricultura (fertilizantes químicos).

La fuente de fósforo en las aguas residuales domesticas proviene de los residuos humanos, detergentes, residuos de comida, comercios e industrias. La crianza y matadero de pollos, ganado y cerdos es otra fuente de nutrientes.

Sin embargo, las relaciones más significativas entre estos dos elementos son:

1. Nutriente limitante: este concepto se basa en la premisa que el nutriente que controlará la máxima cantidad de biomasa vegetal es aquél que primero se consume o que alcanza un mínimo antes que el otro. (Basterrechea, 1984)
2. Uno de los procesos que se encuentra íntimamente relacionado con los nutrientes, es la eutrofización (deterioro ó envejecimiento paulatino del lago). Las especies mejor adaptadas para aprovechar los nutrientes son las plantas acuáticas y el fitoplancton. (García, 2002)
3. En épocas de altas temperaturas existe exceso de nutrientes, los cuales se consumen con rapidez en el epilimnion del lago, debido a que también existe una intensa proliferación de fitoplancton. (García, 2002)

6.5.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas. Cuando la descarga de materia orgánica es alta y se observa una DBO mayor de 10 mg/L, a corto plazo la demanda superará la producción de oxígeno, generándose un déficit que conduce a la anaerobiosis de los sedimentos, que liberan amoniaco, fosfatos y metales produciendo malos olores. (referencia bibliografica No. 9)

Por lo tanto, la cantidad de oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la DBO, ya que si aumenta la producción de oxígeno disminuirá la DBO por la acción de las bacterias aeróbicas que degradaran sin ningún problema la materia orgánica y biodegradable.

6.5.3 Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto es importante en el estudio de contaminación de los sistemas acuáticos debido a que los organismos vivos dependen del oxígeno de alguna manera para mantener los procesos metabólicos que producen energía para crecer y reproducirse. (Basterrechea, 1997)

El oxígeno disuelto y la DBO, producen valores que reflejan el problema de eutrofización, como consecuencia de una fuerte carga de materia orgánica que ingresa al lago.

6.5.4 Coliformes

Los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica. El número de organismos coliformes en los excrementos humanos es grande y su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de contaminación fecal (coliformes fecales) con organismos patógenos y refleja la intervención humana en ese proceso de contaminación. (Basterrechea, 1984)

Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos sino también pueden originarse de animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Aunque no es posible distinguir entre coliformes de origen humano o animal, existen ensayos para diferenciar entre coliformes totales (que incluyen los de animales y suelo) y coliformes fecales (que incluyen únicamente los humanos). (Tabarini, 1981)

Aún cuando existen organismos anaeróbicos y facultativos, la mayoría depende grandemente del oxígeno disuelto para realizar procesos propios de metabolización, lo cual lleva a que también exista relación con la temperatura, oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno. (Romero Rojas, 1999)

6.5.5 Sólidos

Sólidos disueltos: en el agua, este grupo comprende sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. El total de sólidos disueltos se debe a fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas residuales del sector industrial y urbanístico. Es un parámetro útil para conocer las relaciones edáficas y la calidad de un cuerpo de agua. (Basterrechea 1997)

Sólidos totales: en los ensayos, es toda materia que permanece como residuo después de evaporación y secado. El valor del total de sólidos incluye material disuelto y no disuelto (suspendido).

6.6 Universo del estudio

Se procedió a evaluar la información, a nivel superficial de cuatro estaciones de monitoreo ubicadas dentro del lago (Ver esquema No.4)¹:

Estación Centro lado Este ó Estación "A"
Estación Centro lado Oeste ó Estación "B"
Estación Salida al río Michatoya ó Estación "M"
Estación Entrada del río Villalobos ó Estación "V"

Los aspectos evaluados son físicos, químicos y bacteriológicos, considerando principalmente los parámetros siguientes: Fósforo (P), nitrógeno (N), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), sólidos totales (ST) y sólidos disueltos (SD).

Las razones por las cuales se tomaron los parámetros antes mencionados son: la relación física química y biológica que existe entre los mismos (inciso 7.5); y la disponibilidad de datos en los años analizados.

La información recopilada es de 10 años: 1969, 1970, 1974, 1975, 1976, 1997, 1998, 1999, 2000 y 2001.

6.7 Metodología utilizada

La información de los primeros cinco años fue obtenida de boletas proporcionadas por el Ingeniero Zenon Much, jefe del departamento de microbiología del agua del centro de investigaciones, facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos y el resto de información fue proporcionada por el Licenciado Hayro García de AMSA.

Todos los datos fueron digitalizados en hojas electrónicas y separados por parámetro, mes, año, estación de monitoreo y época (seca comprendida de noviembre a abril y lluviosa comprendida de mayo a octubre).

Ordenada la información se procede a correlacionar parámetros por cada estación y las diferentes combinaciones que se pueden dar entre las mismas. Se aplica correlación y regresión lineal, se grafican los datos, se obtienen coeficientes de determinación y ecuaciones de inferencia entre los parámetros analizados.

6.8 Análisis estadístico y matemático

La estadística es una rama de las matemáticas que se ocupa de reunir, organizar y analizar datos numéricos para resolver problemas, analizarlos ó tomar decisiones (Murray, 1969). A la información obtenida se le aplicó el análisis estadístico y matemático por época seca y por época lluviosa

¹ En el resto del informe, las cuatro estaciones analizadas se referirán por las letras asignadas.

6.9 Correlación entre parámetros (r)

El análisis estadístico se basó en la correlación lineal que existe entre dos conjuntos de datos de parámetros, con lo cual se establece un índice adimensional acotado entre $-1,0$ y $1,0$.

Una correlación positiva perfecta tiene un coeficiente $+1,0$ y para una correlación negativa perfecta es $-1,0$. La ausencia de correlación da como coeficientes valores cercanos a cero. (Murray, 1969)

Los coeficientes positivos indican que uno de los parámetros crece en forma simultánea y proporcional al otro parámetro relacionado. Los coeficientes negativos indican que cuando uno de los parámetros crece el otro decrece en la misma proporción (Murray, 1969). Los parámetros relacionados en cada estación de monitoreo (lo cual se justifica en el inciso 7.5) fueron:

- Fósforo (P) y nitrógeno (N)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y oxígeno disuelto (OD)
- Coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF)
- Sólidos totales (ST) y sólidos disueltos (SD)
- Nitrógeno (N) y temperatura (T)
- Turbiedad (Tu) y sólidos totales (ST)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes totales (CT)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales (CF)

Para tomar como aceptable o no una relación y por tratarse de parámetros de calidad de agua, se tomó el criterio de aceptable cuando el coeficiente $r \geq 0,50$ (García, 2000).

6.10 Gráficos, regresión lineal, coeficientes de determinación (r^2) y ecuaciones de estimación

Tomando en cuenta las relaciones aceptables, el paso siguiente fue graficar la información. Los gráficos se realizaron en escala aritmética utilizando los datos siguientes:

- Gráfico con la información original
- Gráfico aplicando a uno de los parámetros logaritmo base diez
- Gráfico aplicando a los dos parámetros logaritmo base diez

Posteriormente, los gráficos que mostraron dispersión lineal se les procedió a efectuar regresión la cual consiste en la aplicación de mínimos cuadrados para calcular la ecuación de línea recta: $y = mx + b$

El coeficiente de determinación r^2 se puede interpretar como la proporción de la varianza de y , que puede atribuirse a la varianza de x (Murray, 1969).

En otras palabras, el coeficiente r^2 es el proceso aritmético de elevar el coeficiente de correlación al cuadrado cuando los datos utilizados para el análisis son aritméticos. Sin embargo, cuando se utilicen datos logarítmicos, r^2 no será necesariamente el coeficiente de correlación al cuadrado, ni la ecuación será lineal.

Además el coeficiente de determinación compara los valores y estimados de la variable "y", y sus valores están comprendidos entre 0 y 1,0. Si el valor es 1,0 hay una correlación perfecta en la muestra, es decir, no hay diferencia entre el valor "y" estimado y el valor "y" real. En el otro extremo, si r^2 es 0 ó cercano a este, la ecuación no es útil para predecir un valor "y".

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Resultados de la correlación lineal (r) entre parámetros

Del cuadro No. 2 se tienen las siguientes correlaciones aceptables:

- Coliformes totales - coliformes fecales, DBO - coliformes totales, en ambas épocas, en todas las estaciones.
- DBO - oxígeno disuelto en ambas épocas, en las estaciones "V" y "M".
- Los nutrientes, en época seca en las estaciones "V" y "M".
- DBO - coliformes fecales en época lluviosa en las estaciones "V" y "M" en época seca en todas las estaciones.
- Sólidos totales - sólidos disueltos, en ambas épocas en la estación "A".
- Turbiedad - sólidos totales, en época lluviosa en la estación "B".
- Nitrógeno - temperatura, en época seca en la estación "V".
- Los coeficientes de correlación lineal aceptables confirman la explicación física, química y biológica entre los parámetros analizados.
- Los parámetros con coeficientes cercanos a cero, indican que no necesariamente su correlación debe ser lineal, pueden presentar otro tipo de correlación, por lo que no se descarta la relación física, química y biológica que existe entre ellos y que fue tratado en el inciso 7.5.

Época	Parámetro	Parámetro	Coeficientes de correlación (r)							
			No	"A"	No	"B"	No	"V"	No	"M"
Lluviosa	Fósforo	Nitrógeno	25	0.04	25	0.22	25	0.06	25	0.36
	DBO	Oxígeno disuelto	39	-0.05	39	-0.17	39	-0.57	38	-0.50
	Coliformes totales	Coliformes fecales	16	0.93	16	1.00	15	0.88	16	0.99
	Sólidos totales	Sólidos disueltos	39	-0.50	39	-0.45	39	-0.49	38	-0.36
	Nitrógeno	Temperatura	14	-0.06	15	-0.07	39	-0.06	15	-0.05
	Turbiedad	Sólidos totales	39	0.11	39	-0.52	39	-0.43	38	-0.14
	DBO	Coliformes totales	20	0.59	20	0.64	19	0.51	20	0.78
	DBO	Coliformes fecales	16	0.46	16	0.62	15	0.63	16	0.74
Seca	Fósforo	Nitrógeno	23	0.01	21	0.01	22	0.95	18	0.68
	DBO	Oxígeno disuelto	32	0.08	32	-0.29	32	-0.77	31	-0.57
	Coliformes totales	Coliformes fecales	11	0.97	11	0.68	12	1.00	12	0.92
	Sólidos totales	Sólidos disueltos	34	-0.54	31	-0.43	33	-0.30	32	-0.36
	Nitrógeno	Temperatura	10	0.13	10	-0.05	10	-0.52	10	0.19
	Turbiedad	Sólidos totales	34	-0.03	33	-0.23	32	-0.37	31	0.13
	DBO	Coliformes totales	13	0.90	14	0.97	14	0.82	14	0.96
	DBO	Coliformes fecales	11	0.95	11	0.51	12	0.86	12	0.81

Cuadro No. 2: Resultados de la correlación lineal entre parámetros por cada estación

"No." Indica el número de parejas formadas

A, B, V, M = Estaciones de monitoreo localizadas en el esquema No. 4 página 7 de este informe.

7.2 Resultados de la correlación lineal de parámetros por la combinación de datos entre estaciones de monitoreo

Al analizar los coeficientes del cuadro No. 3, época lluviosa, se establecen las correlaciones aceptables siguientes:

1. La combinación entre estaciones B-M y V-M presentan la mayoría de correlaciones aceptables, por la afinidad entre los parámetros y la cercanía de las estaciones.
2. El parámetro coliformes fecales tiene coeficientes aceptables en cinco de las seis combinaciones realizadas. La combinación V-M es la única que no cumple.
3. La turbiedad y el oxígeno disuelto son los únicos parámetros que no tienen correlaciones aceptables en ninguna combinación realizada. La explicación que se puede dar de esto es que, cuando en una de las dos estaciones varía el valor del parámetro, no influye en absoluto en el valor que pueda tomar la segunda variable en la otra estación.
4. El resto de parámetros tiene como mínimo dos correlaciones aceptables en las combinaciones realizadas.
5. Los bajos coeficientes obtenidos en las primeras tres columnas se deben a la distancia entre la estación "A" y las otras tres estaciones de monitoreo

De la época seca se tiene:

1. La combinación entre las estaciones V-M presentan la mayoría de correlaciones aceptables, por la afinidad entre los parámetros y la cercanía de las estaciones.
2. El oxígeno disuelto es el parámetro que tiene coeficientes aceptables en todas las combinaciones realizadas. A diferencia de la época lluviosa, en esta época existen comportamientos definidos entre las estaciones combinadas, cuando una aumenta la otra disminuye su concentración (y viceversa) ó cuando una aumenta la otra también aumenta en su concentración.
3. Los coliformes fecales es el único parámetro que no tiene coeficientes aceptables en las combinaciones realizadas. En la combinación B-M no se pudo establecer el coeficiente por tener únicamente una pareja de datos. En la combinación A-B no se toma en cuenta el coeficiente -1.00 , ya que fue formado solamente por dos parejas de datos.
4. El resto de parámetros tiene como mínimo un coeficiente aceptable.
5. A diferencia de la época lluviosa, en esta época la combinación de información entre la estación "A" y las otras tres estaciones dio más resultados que la combinación entre las tres estaciones cercanas del lado oeste, lo cual se puede explicar de manera similar a lo descrito en el inciso dos de este párrafo.
6. Los coeficientes de correlación lineal aceptables confirman la explicación física, química y biológica entre los parámetros analizados.
7. Los parámetros con coeficientes cercanos a cero, indican que no necesariamente su correlación debe ser lineal, pueden presentar otro tipo de correlación, por lo que no se descarta la relación física, química y biológica que existe entre ellos y que fue tratado en el inciso 7.5.

		Coeficientes de correlación (r)											
Época	Parámetro	No	A - B	No	A - V	No	A - M	No	B - V	No	B - M	No	V - M
Lluviosa	Turbiedad	34	-0.02	36	0.14	35	0.01	35	0.42	34	0.30	36	0.25
	Fósforo	14	-0.26	19	0.62	18	0.64	20	-0.05	19	-0.10	24	0.91
	Sólidos totales	37	-0.06	37	0.31	36	0.49	38	0.60	37	0.65	38	0.71
	Sólidos disueltos	38	-0.23	39	0.22	39	-0.01	39	0.45	38	0.51	39	0.88
	Demanda Bioquímica de oxígeno	37	0.04	37	0.47	37	0.58	38	0.34	38	0.50	39	0.66
	Nitrógeno	37	-0.04	38	-0.07	38	0.09	39	0.17	39	0.22	40	0.70
	Temperatura	5	0.61	9	0.27	9	0.27	11	0.74	11	0.76	15	0.91
	Oxígeno disuelto	37	-0.15	37	0.23	37	-0.12	38	0.09	37	0.22	38	0.39
	Coliformes totales	8	-0.21	9	-0.03	10	-0.06	12	1.00	13	0.64	19	0.07
	Coliformes fecales	4	0.94	6	0.94	6	0.94	8	1.00	9	0.56	15	0.07
Seca	Turbiedad	28	0.04	29	0.48	27	0.94	30	0.29	28	0.21	30	0.54
	Fósforo	11	-0.38	19	-0.33	17	0.00	11	0.09	11	-0.26	18	0.54
	Sólidos totales	31	-0.50	31	0.55	30	0.73	31	-0.41	30	-0.38	30	0.39
	Sólidos disueltos	31	-0.11	31	0.77	30	0.45	31	-0.09	30	-0.12	30	0.51
	Demanda Bioquímica de oxígeno	28	-0.11	29	0.49	28	0.06	28	-0.25	28	0.14	28	0.60
	Nitrógeno	28	-0.35	30	-0.26	30	0.02	28	0.41	28	0.22	30	0.89
	Temperatura	28	-0.01	29	0.40	28	0.27	28	-0.06	28	0.28	29	0.58
	Oxígeno disuelto	3	-0.89	11	0.80	9	0.76	3	-0.83	3	-0.82	10	0.82
	Coliformes totales	5	-0.26	11	-0.22	9	-0.21	5	0.41	4	0.21	12	0.57
	Coliformes fecales	2	-1.00	8	-0.16	6	-0.22	2	-0.06	1	#DIV/0!	10	0.26

Cuadro No. 3 Resultados de la correlación lineal de parámetros por la combinación de datos entre estaciones

No. Indica el número de parejas formadas

A, B, V, M = Estaciones de monitoreo localizadas en el esquema No. 4 página 7 de este informe.

7.3 Resultados de la regresión lineal entre parámetros

De la estación centro lado Este "A", se tienen los resultados siguientes (cuadro No. 4):

- Los coeficientes de correlación negativos y positivos cercanos a 0.50 presentan coeficientes de determinación bajos.
- La época seca es la que más coeficientes de determinación cercanos a 1,0 presenta.
- La relación coliformes totales - coliformes fecales (en ambas épocas) es la que cuenta con mejor correlación y coeficiente de determinación. Le siguen las correlaciones DBO - coliformes fecales (época seca) y DBO - coliformes totales (época seca).
- El resto de ensayos, aún cuando tienen correlación aceptable, no presentan dispersión ni un coeficiente de determinación alto, por lo cual, no se toman en cuenta.

Est	Época	Parámetro	Parámetro	No.	Coeficientes	
					r	r ²
A	Lluviosa	Coliformes totales	Coliformes fecales	16	0.93	0.92
		Sólidos totales	Sólidos disueltos	39	-0.50	0.24
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	20	0.59	0.35
	Seca	Coliformes totales	Coliformes fecales	11	0.97	0.67
		Sólidos totales	Sólidos disueltos	34	-0.54	0.32
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	13	0.90	0.69
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes fecales	11	0.95	0.68

Cuadro No.4: Coeficientes de correlación (r) y de determinación (r²) entre parámetros de calidad del agua, en la estación de monitoreo centro lado Este ("A").

"No." Indica el número de parejas formadas

De la estación centro lado Oeste "B", se tienen los resultados siguientes (cuadro No. 5):

- La turbiedad y los sólidos totales en la época lluviosa es la única combinación de parámetros que presenta coeficiente de determinación bajo.
- Esta estación tuvo un balance entre la época lluviosa y la época seca, cada grupo presenta tres correlaciones y coeficientes de determinación aceptables.
- La correlación coliformes totales - coliformes fecales es la que se encuentra con mejor, dispersión y coeficiente de determinación. Le siguen las relaciones entre la DBO - coliformes fecales y DBO - coliformes totales.

Est	Época	Parámetro	Parámetro	No.	Coeficientes	
					R	r ²
B	Lluviosa	Coliformes totales	Coliformes fecales	16	0.99	0.90
		Turbiedad	Sólidos totales	39	-0.52	0.29
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	20	0.64	0.58
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes fecales	16	0.62	0.78
	Seca	Coliformes totales	Coliformes fecales	11	0.68	0.89
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	14	0.97	0.60
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes fecales	11	0.51	0.71

Cuadro No.5: Coeficientes de correlación (r) y de determinación (r²) entre parámetros de calidad del agua, en la estación de monitoreo centro lado Oeste ("B").

"No." Indica el número de parejas formadas

De la estación entrada del río Villalobos "V", se tienen los resultados siguientes (cuadro No. 6):

- La relación coliformes totales - coliformes fecales es la que se encuentra con mejor correlación y coeficiente de determinación. Le siguen las relaciones entre la DBO - coliformes fecales, DBO - coliformes totales.
- Las relaciones entre DBO – oxígeno disuelto, sólidos totales - sólidos disueltos (época lluviosa) y nitrógeno – temperatura (época seca), no presentan dispersión ni coeficiente de determinación alto, por lo cual no se toman en cuenta.

Est	Época	Parámetro	Parámetro	No.	Coeficientes	
					r	r ²

V	Lluviosa	Demanda bioquímica de oxígeno	Oxígeno disuelto	39	-0.57	0.37
		Coliformes totales	Coliformes fecales	15	0.88	0.97
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	19	0.51	0.83
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes fecales	15	0.63	0.86
	Seca	Fósforo	Nitrógeno	22	0.95	0.59
		Demanda bioquímica de oxígeno	Oxígeno disuelto	32	-0.77	0.59
		Coliformes totales	Coliformes fecales	12	1.00	0.95
		Nitrógeno	Temperatura	10	-0.52	0.01
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	14	0.82	0.69
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes fecales	12	0.86	0.64

Cuadro No.6: Coeficientes de correlación (r) y de determinación (r^2) entre parámetros de calidad del agua, en la estación de monitoreo entrada del río Villalobos ("V").

"No." Indica el número de parejas formadas

De la estación salida al río Michatoya "M", se tienen los resultados siguientes (cuadro No. 7):

- Al igual que las otras estaciones, se confirma que los coeficientes de correlación cercanos a 0,50 presentan coeficientes de determinación bajos.
- En ambas épocas la correlación coliformes totales - coliformes fecales es la que se encuentra con mejor dispersión y coeficiente de determinación. Le siguen las correlaciones entre la DBO - coliformes fecales y DBO - coliformes totales.
- Las relaciones entre DBO – oxígeno disuelto (época lluviosa y época seca) y sólidos totales - sólidos disueltos (época lluviosa), aún cuando tienen una correlación aceptable, no presentan dispersión ni un coeficiente de determinación alto, por lo cual no se toman en cuenta.

Est	Época	Parámetro	Parámetro	No,	Coeficientes	
					r	r^2
M	Lluviosa	Demanda bioquímica de oxígeno	Oxígeno disuelto	38	-0.50	0.23
		Coliformes totales	Coliformes fecales	16	0.99	0.94
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	20	0.78	0.65
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes fecales	16	0.74	0.84
	Seca	Fósforo	Nitrógeno	18	0.68	0.54
		Demanda bioquímica de oxígeno	Oxígeno disuelto	31	-0.57	0.32
		Coliformes totales	Coliformes fecales	12	0.92	0.83
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes totales	14	0.96	0.57
		Demanda bioquímica de oxígeno	Coliformes fecales	12	0.81	0.89

Cuadro No.7: Coeficientes de correlación (r) y de determinación (r^2) entre parámetros de calidad del agua, en la estación de monitoreo salida al río Michatoya ("M").

"No." Indica el número de parejas formadas

7.4 Resultados de la regresión lineal entre parámetros, por combinación de la información entre las estaciones de monitoreo

De la época lluviosa se tienen los resultados siguientes (cuadro No. 8):

- La mayoría de correlaciones y coeficientes de determinación aceptables se dan entre la estaciones de entrada y salida del lago.
- En esta época solo las tres estaciones del lado oeste son las que se interrelacionan en algunos parámetros analizados, por lo cual la estación más alejada (centro lado Este) es independiente en su comportamiento de éstas tres.
- La temperatura es el único parámetro que tiene coeficientes aceptables en las tres estaciones del lado oeste.
- El fósforo, sólidos disueltos, DBO y la temperatura son parámetros que físicamente se relacionan entre sí, (ver cuadro No.8, e inciso 7.5) por lo cual es aceptable y comprensible que en estaciones cercanas se tengan coeficientes altos de correlación y determinación.

Época	ESTACIONES ---- > Parámetro	B-V			B-M			V-M		
		No.	r	r ²	No.	R	r ²	No.	R	r ²
Lluviosa	Fósforo							24	0.91	0.64
	Sólidos disueltos							39	0.88	0.84
	Demanda bioquímica de oxígeno							39	0.66	0.75
	Temperatura	11	0.74	0.53	11	0.76	0.57	15	0.91	0.83
	Coliformes totales	12	1.00	0.67						
	Coliformes fecales	8	1.00	0.96	9	0.56	0.75			

Cuadro No.8: Coeficientes de determinación (r^2) de parámetros de calidad del agua, por la combinación de información entre estaciones de monitoreo, en la época lluviosa.

"No." Indica el número de parejas formadas

A, B, V, M = Estaciones de monitoreo localizadas en el esquema No. 4 página 7 de este informe.

De la época seca se tienen los resultados siguientes (cuadro No. 9):

- Al igual que la época lluviosa, la combinación de información entre las estaciones de entrada y salida del lago, sigue manteniendo la mayoría de coeficientes aceptables en correlación y determinación.
- En esta época, la estación del lado este, a pesar de la distancia, si tiene correlación tanto con la entrada (sólidos disueltos y temperatura) como con la salida del lago (turbiedad, sólidos totales y temperatura)
- La turbiedad, DBO, oxígeno disuelto y coliformes totales, guardan relación en lo físico y biológico, por lo cual también es lógico que tengan coeficientes altos de correlación y de determinación.

Época	ESTACIONES ---- > Parámetro	A-V			A-M			V-M		
		No.	R	r ²	No.	r	r ²	No.	r	r ²
Seca	Turbiedad				27	0.94	0.53	30	0.54	0.54
	Sólidos totales				30	0.73	0.58			

Sólidos disueltos	31	0.77	0.60						
Demanda bioquímica de oxígeno							28	0.60	0.50
Oxígeno disuelto							29	0.58	0.58
Coliformes totales							12	0.57	0.69
Temperatura	11	0.80	0.67	9	0.76	0.57	10	0.82	0.66
Nitrógeno							30	0.89	0.79

Cuadro No.9: Coeficientes de determinación (r^2) de parámetros de calidad del agua, por la combinación de información entre estaciones de monitoreo, en la época seca.

“No.” Indica el número de parejas formadas

A, B, V, M = Estaciones de monitoreo localizadas en el esquema No. 4 página 7 de este informe.

7.5 Resumen global de resultados

Los cuadros No. 10 y No. 11 presentan los resultados finales obtenidos por estación individual y por la combinación de la información respectivamente. Es importante

tomar en cuenta todo lo explicado en la parte teórica de este informe, sobre todo el punto 6.10 donde se hace la observación de que algunos parámetros mostraban mejor dispersión grafica de sus datos al aplicarles logaritmo base diez lo cual da como resultado una ecuación con exponente y un coeficiente de determinación (r^2) que no será el cuadrado exacto del coeficiente de correlación (r).

Est	Época	Parámetro (X)	Parámetro (Y)	No.	r	r ²	G	Ecuación
A	Lluviosa	Coliformes totales	Coliformes fecales	16	0.93	0.92	17	Cf = 0.17 Ct ^{1.07}
	Seca	Coliformes totales	Coliformes fecales	11	0.97	0.67	18	Cf = 0.85 Ct ^{0.82}
	Seca	DBO	Coliformes totales	13	0.90	0.82	19	Ct = 489.13 DBO - 2220.40
	Seca	DBO	Coliformes fecales	11	0.95	0.91	20	Cf = 365.54 DBO - 1946.90
B	Lluviosa	DBO	Coliformes totales	20	0.64	0.58	21	Ct = 3.39 DBO ^{3.01}
	Lluviosa	Coliformes totales	Coliformes fecales	16	0.99	0.90	22	Cf = 0.17 Ct ^{1.08}
	Lluviosa	DBO	Coliformes fecales	16	0.62	0.78	23	DBO = 0.03 Cf ^{4.63}
	Seca	Coliformes totales	Coliformes fecales	11	0.68	0.89	24	Cf = 0.41 Ct ^{0.93}
	Seca	DBO	Coliformes totales	14	0.97	0.94	25	Ct = 7909.30 DBO - 41350
	Seca	DBO	Coliformes fecales	11	0.51	0.71	26	Cf = 0.12 DBO ^{3.55}
V	Lluviosa	Coliformes totales	Coliformes fecales	15	0.88	0.97	27	Cf = 0.25 Ct ^{1.02}
	Lluviosa	DBO	Coliformes totales	19	0.51	0.83	28	Ct = 1.55 DBO ^{5.07}
	Lluviosa	DBO	Coliformes fecales	15	0.63	0.86	29	Cf = 0.48 DBO ^{5.20}
	Seca	Nitrógeno total	Fósforo total	22	0.95	0.90	30	Pt = 0.41 Nt + 0.43
	Seca	Coliformes totales	Coliformes fecales	12	1.00	0.95	31	Cf = 0.07 Ct ^{1.13}
	Seca	DBO	Coliformes totales	14	0.82	0.69	32	Ct = 4.27 DBO ^{4.25}
	Seca	DBO	Coliformes fecales	12	0.86	0.64	33	Cf = 0.48 DBO ^{4.70}
	Seca	DBO	Oxígeno disuelto	32	-0.77	0.59	34	Od = -0.13 DBO + 8.30
M	Lluviosa	Coliformes totales	DBO	20	0.78	0.65	35	DBO = 5.09 log Ct - 6.66
	Lluviosa	Coliformes fecales	DBO	16	0.74	0.84	36	DBO = 4.72 log Cf - 1.90
	Lluviosa	Coliformes totales	Coliformes fecales	16	0.99	0.94	37	Cf = 0.11 Ct ^{1.14}
	Seca	Coliformes totales	Coliformes fecales	12	0.92	0.83	38	Cf = 0.02 Ct ^{1.30}
	Seca	Coliformes totales	DBO	14	0.96	0.57	39	DBO = 1.10 Ct ^{3.70}
	Seca	DBO	Coliformes fecales	12	0.81	0.89	40	Cf = 0.0002 DBO ^{7.04}
	Seca	Fósforo total	Nitrógeno total	18	0.68	0.54	41	Nt = 1.51 Pt ^{1.08}

Cuadro No.10: Resumen de coeficientes de correlación (r), coeficientes de determinación (r^2) y ecuaciones de estimación entre parámetros de calidad del agua, por cada estación de monitoreo, en época seca y época lluviosa.

"No." Indica el número de parejas formadas

"G" Indica el número de grafico correspondiente, lo cuales se encuentran en los anexos.

A, B, V, M = Estaciones de monitoreo localizadas en el esquema No. 4 página 7 de este informe.

Época	Parámetro	Est.	Est.	No.	r	r ²	G	Ecuación
Lluviosa	Fósforo	V	M	24	0.91	0.64	42	$P_{(Est-M)} = 0.33 P_{(Est-V)}^{1.09}$
	Sólidos disueltos	V	M	39	0.88	0.71	43	$Sd_{(Est-M)} = 0.81 Sd_{(Est-V)} + 77.73$

	DBO	V	M	39	0.66	0.75	44	$DBO_{(Est-M)} = 2.63 DBO_{(Est-V)}^{0.50}$
	Temperatura	B	V	11	0.74	0.53	45	$T_{(Est-V)} = 0.60 T_{(Est-B)} + 10.09$
	Temperatura	B	M	11	0.76	0.57	46	$T_{(Est-M)} = 0.52 T_{(Est-B)} + 12.23$
	Temperatura	V	M	15	0.91	0.83	47	$T_{(Est-M)} = 0.86 T_{(Est-V)} + 3.59$
	Coliformes totales	B	V	12	1.00	0.67	48	$Ct_{(Est-V)} = 1.94 Ct_{(Est-B)}^{0.62}$
	Coliformes fecales	B	V	8	1.00	0.96	49	$Cf_{(Est-V)} = 1.13 Cf_{(Est-B)}^{0.66}$
	Coliformes fecales	B	M	9	0.56	0.75	50	$Cf_{(Est-M)} = 2.40 Cf_{(Est-B)}^{0.88}$
Seca	Turbiedad	A	M	27	0.94	0.88	51	$t_{(Est-M)} = 1.32 t_{(Est-A)} - 1.52$
	Turbiedad	V	M	30	0.54	0.54	52	$t_{(Est-M)} = 2.69 t_{(Est-V)}^{0.28}$
	Sólidos totales	A	M	30	0.73	0.58	53	$St_{(Est-M)} = 0.90 St_{(Est-A)} + 93.02$
	Sólidos disueltos	A	V	31	0.77	0.60	54	$Sd_{(Est-V)} = 1.07 Sd_{(Est-A)} + 106.54$
	DBO	V	M	28	0.60	0.50	55	$DBO_{(Est-M)} = 3.55 DBO_{(Est-V)}^{0.41}$
	Oxígeno disuelto	V	M	29	0.58	0.58	56	$Od_{(Est-M)} = 1.95 Od_{(Est-V)}^{0.72}$
	Coliformes totales	V	M	12	0.57	0.69	57	$Ct_{(Est-M)} = 27.54 Ct_{(Est-V)}^{0.44}$
	Temperatura	A	V	11	0.80	0.67	58	$T_{(Est-V)} = 0.64 T_{(Est-B)} + 8.64$
	Temperatura	A	M	9	0.76	0.57	59	$T_{(Est-M)} = 0.65 T_{(Est-B)} + 8.58$
	Temperatura	V	M	10	0.82	0.66	60	$T_{(Est-M)} = 0.94 T_{(Est-B)} + 1.73$
	Nitrógeno	V	M	30	0.89	0.79	61	$N_{(Est-M)} = 0.97 T_{(Est-V)} - 0.16$

Cuadro No.11: Resumen de coeficientes de correlación (r), coeficientes de determinación (r^2) y ecuaciones de estimación entre parámetros de calidad del agua, por la combinación de información en las cuatro estaciones de monitoreo, en época seca y época lluviosa.

“Est.” Estación de monitoreo

“No.” Indica el número de parejas formadas

“G” Indica el número de grafico correspondiente, lo cuales se encuentran en los anexos.

A, B, V, M = Estaciones de monitoreo localizadas en el esquema No. 4 página 7 de este informe.

7.6 Comportamiento de los parámetros, por estación de monitoreo

7.6.1 Comportamientos observados en la estación centro lado Este “A”.

- a) **Nitrógeno** (grafico No.1): se tiene un comportamiento con pendiente negativa (tendencia a disminuir). En junio de 1975 se dio la máxima

concentración reportada (5.78 mg/L). Desde octubre de 1975 se tienen concentraciones por debajo de 1,0 mg/L, lo cual es el límite mínimo aceptable para fuentes de agua, según la norma² utilizada.

- b) **Sólidos disueltos** (grafico No.2): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). De julio de 1969 a noviembre de 1976 se reportan concentraciones entre 360,0 y 490,0 mg/L. A partir de marzo de 1997 se reportan valores entre 550,0 y 700,0 mg/L. el máximo valor es de junio de 1997 (774,0 mg/L). Según la norma, hasta ahora, este parámetro se encuentra por debajo de la concentración máxima aceptable (1500 mg/L).
- c) **Demanda bioquímica de oxígeno** (grafico No.3): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). Entre julio de 1974 y diciembre de 1976 se reportaron concentraciones menores de 10 mg/L (lo cual según la norma es el límite mínimo de demanda aceptable). Sin embargo a partir de junio de 1997 se han tenido demandas entre 16,0 y 21,0 mg/L. El valor máximo es de junio de 1998 (25,0 mg/L).
- d) **Coliformes totales** (grafico No.4): se tiene una tendencia de aumento. Entre julio de 1974 y noviembre de 1976 se observaron valores entre los 360,0 y los 1600 NMP/100 cm³. En junio de 1999 se registro la mayor concentración (35000 NMP/100 cm³). Sin embargo, según los últimos datos, se tiene en promedio concentraciones de 30000 NMP/100 cm³ lo cual ubica las aguas de esta estación en la categoría 3 (de 5000 a 50000 NMP/100 cm³, contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos)
- e) **Fósforo total**³ (grafico No.57): comportamiento uniforme; únicamente se reportan dos datos mayores de 0,50 mg/L pero menores de 1,0 mg/L de concentración, los cuales se dieron en diciembre de 1969 (0,95 mg/L) y febrero de 1970 (0,68 mg/L). El resto de valores hasta diciembre de 2001 se encuentra por debajo de 0,50 mg/L.
- f) **Sólidos totales** (grafico No.58): tendencia a disminuir las concentraciones; de noviembre de 1969 a abril de 1999 se registran concentraciones promedio de 450,0 mg/L. De mayo de 1999 a diciembre de 2001 los valores han disminuido a un promedio de 170,0 mg/L.

- g) **Oxígeno disuelto** (grafico No.59): este parámetro no presenta un comportamiento definido. La máxima concentración reportada es de 12,70 mg/L en julio de 1998 y la concentración promedio es de 7,0 mg/L. En todo caso, como se establece en el punto 8.7.2 inciso c), las

² Normas de calidad para las fuentes de agua de la Organización Mundial de la Salud (OMS), utilizadas en el territorio de Guatemala.

³ Los gráficos de cada estación de los parámetros fósforo total, sólidos totales, coliformes fecales y oxígeno disuelto se presentan en los anexos del presente informe. En la norma utilizada no se encuentran estos cuatro parámetros, por lo que no se compararon con la misma.

concentraciones de oxígeno están por debajo de las demandas establecidas.

- h) Coliformes fecales** (grafico No.60): tendencia a aumentar; hasta diciembre de 1976 las concentraciones eran menores de 1000 NMP/100 cm³. A partir de 1999 se tienen valores promedio de 1600 NMP/100 cm³. El máximo valor reportado es de junio de 1999 (25000 NMP/100 cm³.)

Grafico No. 1 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro nitrógeno total en la estación centro lado este

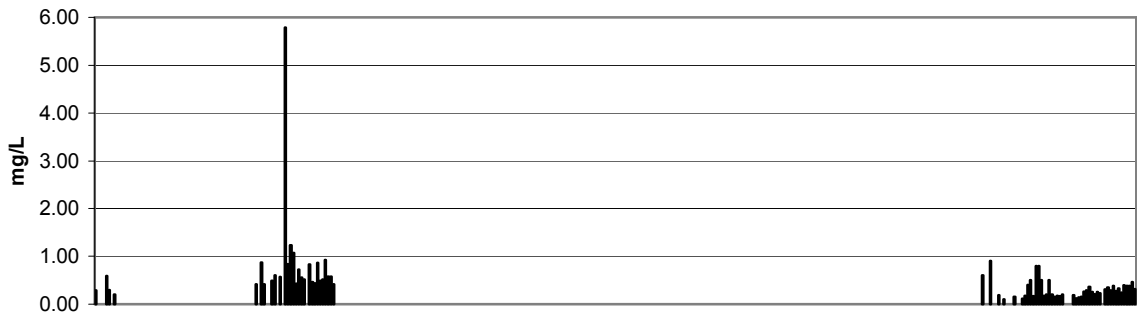


Grafico No. 2 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro sólidos disueltos en la estación centro lado este

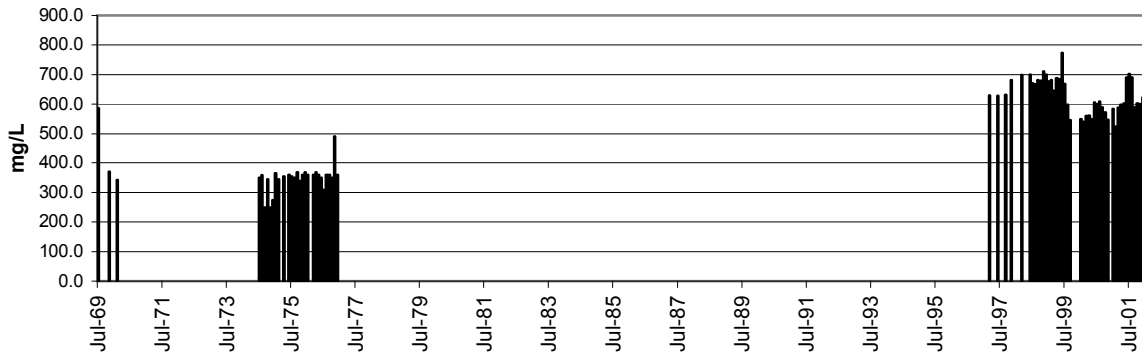


Grafico No. 3 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en la estación centro lado este

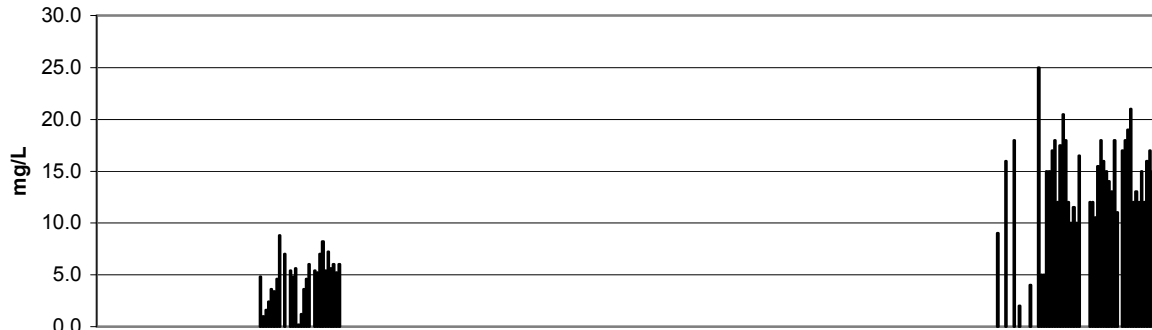
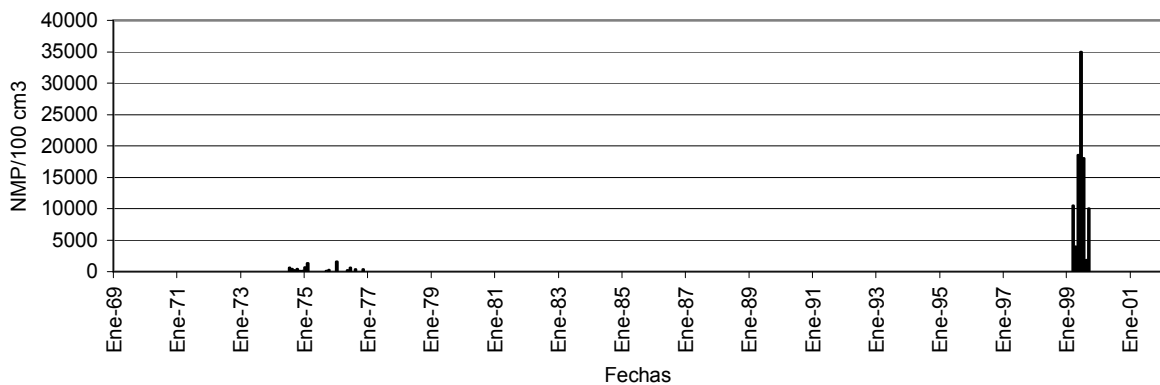


Grafico No. 4 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro coliformes totales en la estación centro lado este



7.6.2 Comportamientos observados en la estación centro lado Oeste "B".

- a) **Nitrógeno** (grafico No.5): presenta un comportamiento con pendiente negativa (tendencia a disminuir a valores por debajo de 0,50 mg/L). En junio de 1975 se dio el valor máximo reportado (3.96 mg/L). El resto de datos presenta concentraciones por debajo de 1,0 mg/L, lo cual es el límite mínimo para fuentes de agua, según la norma utilizada.
- b) **Sólidos disueltos** (grafico No.6): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). Sin embargo tomado el grupo de datos desde marzo de 1997 a diciembre de 2001 la tendencia es a disminuir en un 22%. De julio de 1974 a diciembre de 1976 se reportan valores entre 400,0 y 550,0 mg/L de concentración. A partir de marzo de 1997 se reportan valores entre 700,0 y 900,0 mg/L. El máximo valor reportado es de julio de 1998 (906,0 mg/L). Según la norma, hasta ahora, este parámetro se encuentra por debajo de la concentración máxima aceptable (1500 mg/L).

- c) **Demanda bioquímica de oxígeno** (grafico No.7): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). Entre julio de 1974 y diciembre de 1976 se reportan demandas menores a 10 mg/L (límite mínimo de contaminación aceptable según la norma). Sin embargo a partir de junio de 1997 se han tenido demandas entre 15,0 y 30,0 mg/L. La máxima demanda registrada es de abril de 1999 (38,0 mg/L). Tomando los puntos críticos 10,0 y 38,0 mg/L, se ha aumentado aproximadamente 280% en las concentraciones de este parámetro.
- d) **Coliformes totales** (grafico No.8): presenta una tendencia de aumento y disminución. De septiembre de 1976 ($1,24 \times 10^4$ NMP/100 cm³) a mayo de 1999 ($5,40 \times 10^5$ NMP/100 cm³) existió aumento. De junio a septiembre de 1999, disminuye a concentraciones de 1.6×10^4 NMP/100 cm³. En promedio se tiene un valor de $3,20 \times 10^4$ NMP/100 cm³, según la norma, clasifica el agua de esta estación en la categoría 3 (de 5000 a 50000 NMP/100 cm³, contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos.)
- e) **Fósforo total** (grafico No.61): presenta una tendencia bien marcada al aumento, entre concentraciones de 0,20 mg/L a 0,60 mg/L.
- f) **Sólidos totales** (grafico No.62): el comportamiento es disminución en la concentración. De junio de 1974 a diciembre de 1976 se tienen concentraciones promedio de 500,0 mg/L. A partir de marzo de 1997 las concentraciones han disminuido a un promedio de 300,0 mg/L.
- g) **Oxígeno disuelto** (grafico No.63): este parámetro no presenta un comportamiento definido. La máxima concentración reportada es de 14,09 mg/L en junio de 1998. Se tiene en promedio 8,0 mg/L de concentración. En todo caso, como se analizó en el punto 8.7.4 inciso c), las concentraciones de oxígeno están por debajo de las demandas establecidas.
- h) **Coliformes fecales** (grafico No.64): este parámetro no presenta un comportamiento definido. La concentración promedio es de 2.8×10^4 NMP/100cm³. Se registraron dos concentraciones altas en el año 1999; en marzo (1.55×10^5 NMP/100 cm³) y en mayo (5.40×10^5 NMP/100 cm³).

Grafico No. 5 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1970 al año 2001, del parámetro nitrógeno total en la estación centro lado oeste

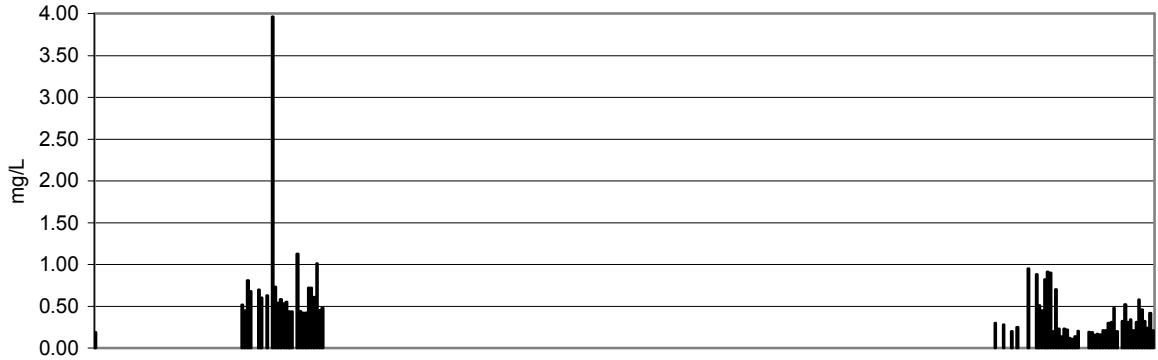


Grafico No. 6 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1970 al año 2001, del parámetro sólidos disueltos en la estación centro lado oeste



Grafico No. 7 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1970 al año 2001, del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en la estación centro lado oeste

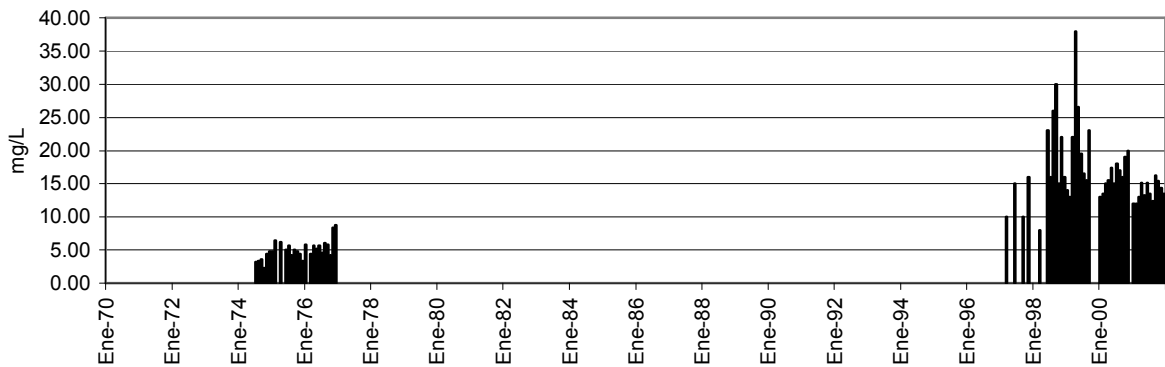
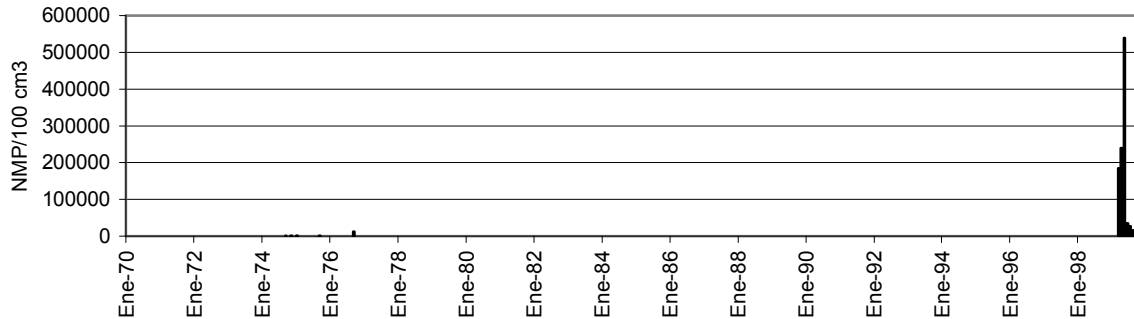


Grafico No. 8 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1970 al año 2001, del parámetro coliformes totales en la estación centro lado oeste



7.6.3 Comportamientos observados en la estación entrada del río Villalobos.

- a) **Nitrógeno** (grafico No.9): presenta un comportamiento uniforme por lo que la pendiente de la línea de tendencia es casi nula. En noviembre de 1997, se ha reportado hasta el momento la mayor concentración de todo el lago (7.46 mg/L). El resto de datos presenta valores promedio de 1,05 mg/L de concentración, lo cual indica, según la norma utilizada, que las concentraciones de este nutriente están arriba del límite mínimo aceptable para fuentes de agua (1,0 mg/L).
- b) **Sólidos disueltos** (grafico No.10): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). De noviembre de 1969 a diciembre de 1976 se reportan concentraciones entre los 350,0 y 550,0 mg/L. A partir de marzo de 1997 se reportan valores entre 750,0 y 900,0 mg/L. El máximo valor es de junio de 1998 (906,0 mg/L). Según la norma, hasta ahora, este parámetro se encuentra por debajo de la concentración máxima aceptable (1500,0 mg/L).
- c) **Demanda bioquímica de oxígeno** (grafico No.11): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). Entre julio de 1974 y diciembre de 1976 se reportan demandas menores de 10 mg/L (límite mínimo de contaminación aceptable según la norma). Sin embargo a partir de junio de 1997 se han tenido demandas entre 25,0 y 53,0 mg/L El valor máximo observado y que coincide con el máximo en todo el lago se registra en junio de 1997 (95,0 mg/L).
- d) **Coliformes totales** (grafico No.12): presenta una tendencia de aumento. Hasta septiembre de 1976 se observan valores menores de 2400,0 NMP/100 cm³. A partir de marzo de 1999, se han dado concentraciones entre $4,05 \times 10^5$ NMP/100 cm³ y $6,80 \times 10^9$ NMP/100 cm³ siendo este último valor la mayor concentración registrada en todo el lago. En promedio se tiene $3,17 \times 10^8$ NMP/100 cm³, según la norma, clasifica el agua de esta estación en la categoría 4 (última categoría, más de 50000 NMP/100 cm³, contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua, la cual se utilizara únicamente en casos extremos y a menos que se recurra a tratamientos especiales)

- e) **Fósforo total** (grafico No.65): presenta un comportamiento uniforme (pendiente cercana a cero) con concentraciones promedio de 1,12 mg/L. La máxima concentración reportada es de junio de 1997 (4,40 mg/L).
- f) **Sólidos totales** (grafico No.66): presenta disminución en la concentración. De noviembre de 1969 a diciembre de 1976 se reportan concentraciones promedio de 500,0 mg/L. A partir de marzo de 1997 los valores han disminuido a un promedio de 400,0 mg/L.
- g) **Oxígeno disuelto** (grafico No.67): Se nota la marcada disminución de este parámetro. Hasta diciembre de 1976 se tienen concentraciones promedio de 9,50 mg/L. De marzo de 1998 a diciembre de 2001 se registran valores promedio de 6,0 mg/L. En todo caso, como se analizo en el punto 8.7.6 inciso c), las concentraciones de oxígeno están por debajo de las demandas establecidas.
- h) **Coliformes fecales** (grafico No.68): al igual que los coliformes totales, gráficamente este parámetro presenta una tendencia de aumento. Hasta septiembre de 1976 se observan valores menores de 1000,0 NMP/100 cm³. A partir de marzo de 1999, se registran concentraciones entre $1,20 \times 10^8$ NMP/100 cm³ y $1,70 \times 10^9$ NMP/100 cm³, siendo este último, la mayor concentración registrada.

Grafico No. 9 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro nitrógeno total en la estación entrada del río Villalobos

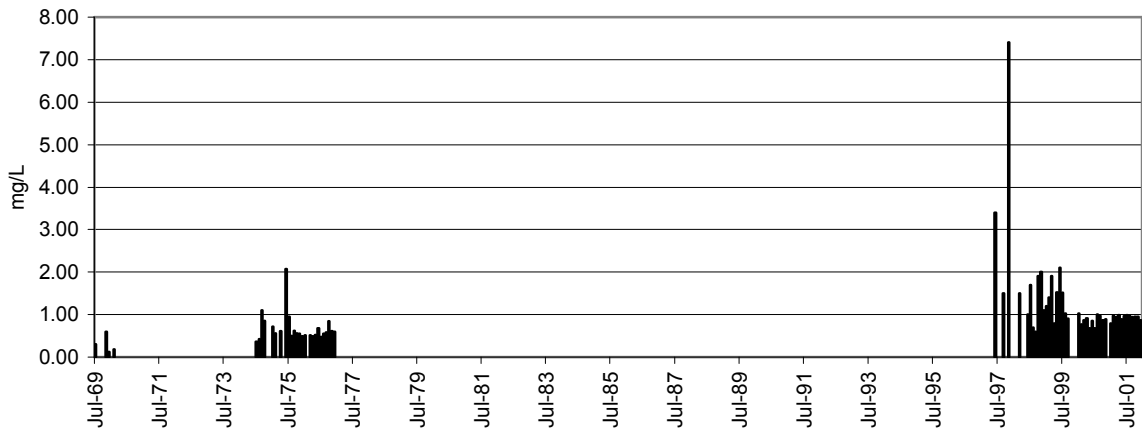


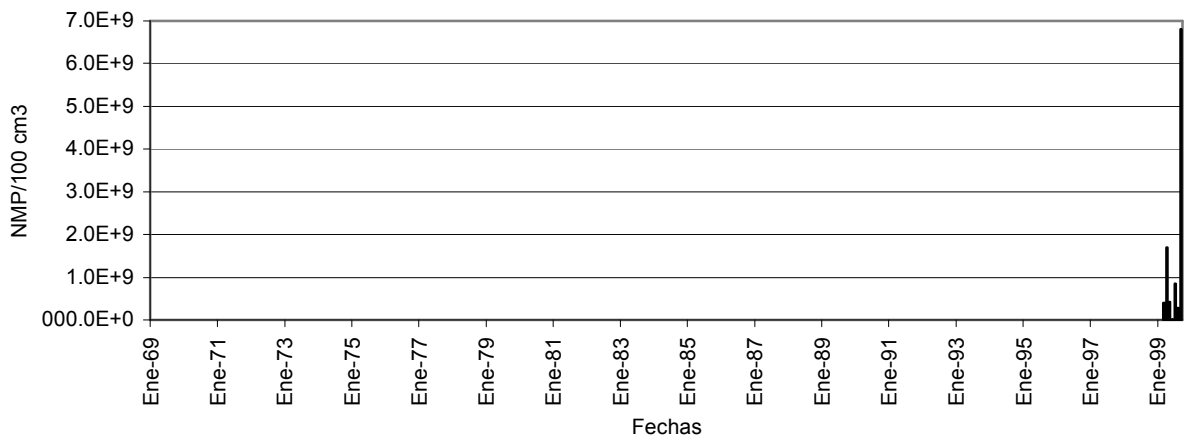
Grafico No. 10 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro sólidos disueltos en la estación entrada del río Villalobos



Grafico No. 11 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en la estación entrada del río Villalobos



Grafico No. 12 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro coliformes totales en la estación entrada del río Villalobos



7.6.4 Comportamientos observados en la estación salida al río Michatoya "M".

- a) **Nitrógeno** (grafico No.13): presenta un comportamiento uniforme por lo que la pendiente de la línea de tendencia es casi nula. En promedio se tienen valores de 0,76 mg/L lo cual indica que las concentraciones de este nutriente están por debajo del límite mínimo aceptable para fuentes de agua (1,0 mg/L).
- b) **Sólidos disueltos** (grafico No.14): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). De noviembre de 1969 a diciembre de 1976 se reportan valores entre 400,0 y 500,0 mg/L de concentración. A partir de marzo de 1997 se reportan valores entre 700,0 y 900,0 mg/L. El máximo valor reportado es de junio de 1998 (922,0 mg/L). Según la norma, hasta ahora, este parámetro se encuentra por debajo de la concentración máxima aceptable (1500,0 mg/L).
- c) **Demanda bioquímica de oxígeno** (grafico No.15): presenta un comportamiento con pendiente positiva (tendencia a aumentar). Entre julio de 1974 y diciembre de 1976 se reportan demandas menores de 10 mg/L (límite mínimo de contaminación aceptable según la norma); a partir de junio de 1997 se han tenido demandas entre 15,0 y 30,0 mg/L. El valor máximo reportado es de noviembre de 1997 (46,0 mg/L) lo cual indica, tomando los puntos críticos 10,0 y 30,0 mg/L, que se ha aumentado aproximadamente 200%.
- d) **Coliformes totales** (grafico No.16): el comportamiento general es de aumentar las concentraciones. En promedio se tiene 30000 NMP/100 cm³, según la norma, clasifica el agua de esta estación en la categoría 3 (de 5000 a 50000 NMP/100 cm³, contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos)
- e) **Fósforo total** (grafico No.69): el gráfico presenta un comportamiento uniforme (pendiente cercana a cero) con concentraciones promedio de 0,56 mg/L. La máxima concentración reportada es de junio de 1997 (5,0 mg/L).
- f) **Sólidos totales** (grafico No.70): el comportamiento presenta disminución en la concentración. De noviembre de 1969 a diciembre de 1976 se presentan concentraciones promedio de 500,0 mg/L. A partir de marzo de 1997 los valores han disminuido a un promedio de 350,0 mg/L.
- g) **Oxígeno disuelto** (grafico No.71): presenta un comportamiento uniforme por lo que la pendiente de la línea de tendencia es casi nula. Los valores se encuentran en 7,0 mg/L en promedio. En todo caso, como se analizó en el punto 8.7.8 inciso c), las concentraciones de oxígeno están por debajo de las demandas establecidas.
- h) **Coliformes fecales** (grafico No.72): al igual que los coliformes totales, este parámetro presenta una tendencia de aumento. Hasta septiembre de 1976 se observan concentraciones menores de 1000,0 NMP/100 cm³. En marzo de 1999, se registro la mayor concentración en esta estación (3,51 x 10⁵ NMP/100 cm³) a partir ésta se ha tenido un comportamiento de disminución hasta concentraciones de 1,90 x 10⁴ NMP/100 cm³.

Grafico No. 13 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro nitrógeno total en la estación salida al río Michatoya



Grafico No. 14 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro sólidos disueltos en la estación salida al río Michatoya

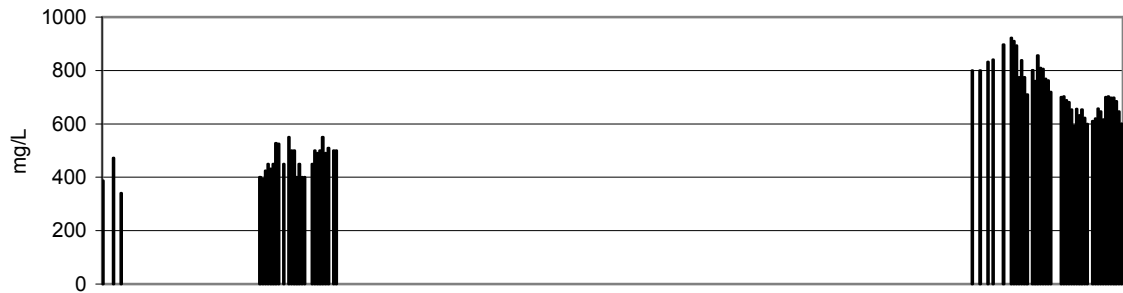


Grafico No. 15 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en la estación salida al río Michatoya

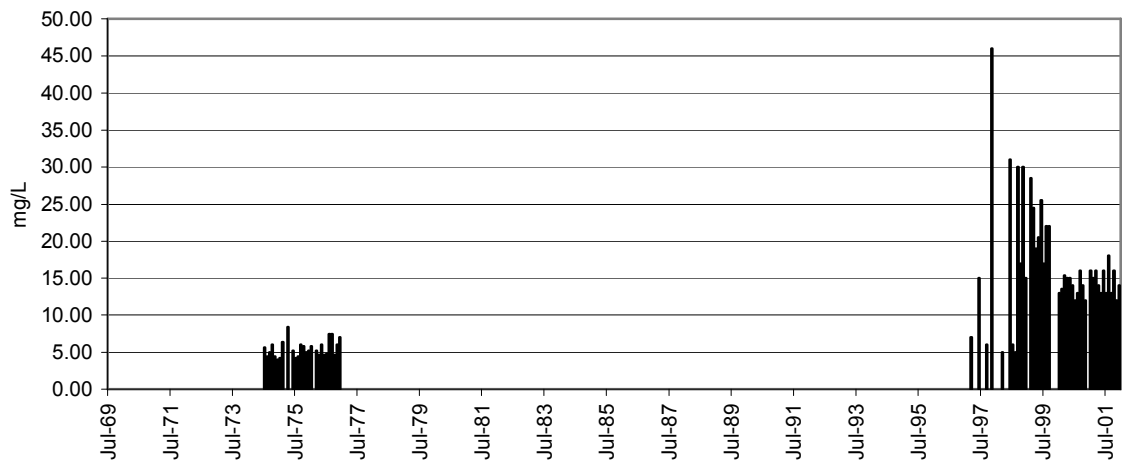
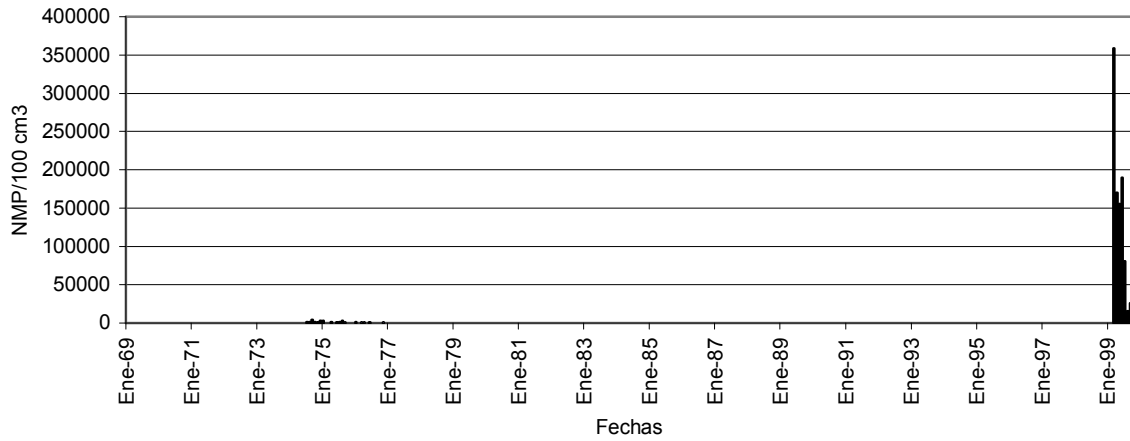


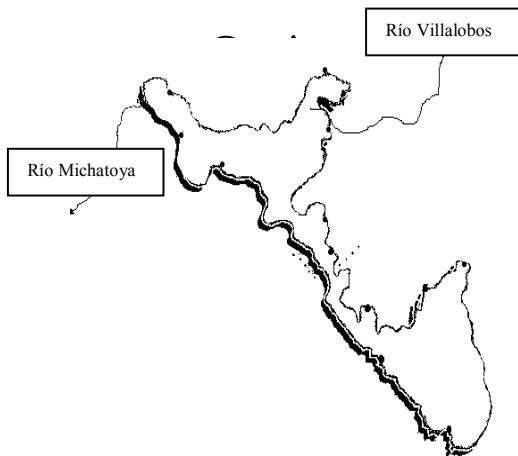
Grafico No. 16 Comportamiento de las concentraciones observadas del año 1969 al año 2001, del parámetro coliformes totales en la estación salida al río Michatoya



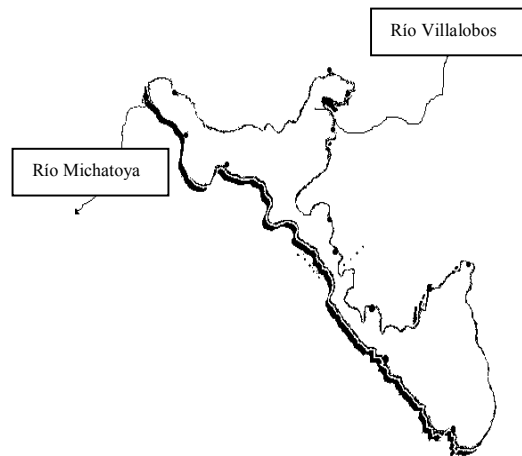
7.7 Análisis de la variación espacial de parámetros⁴

7.7.1 Fósforo (esquemas No. 5 y No.6)

En época lluviosa la tendencia es similar en los dos centros del lago, con aumento leve del lado oeste al lado este. En la época seca el lado este es el que presenta la menor concentración, aumenta levemente al lado oeste. En ambas épocas la concentración en la desembocadura del río Villalobos es aproximadamente el doble de lo que sale al río Michatoya.



Esquema No.5: Variación espacial promedio del Fósforo en época seca

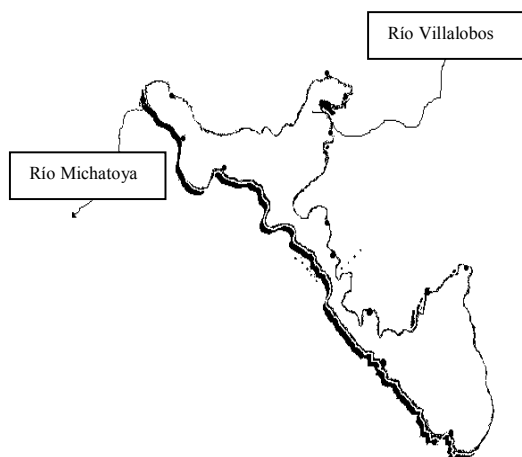


Esquema No.6: Variación espacial promedio del Fósforo en época lluviosa

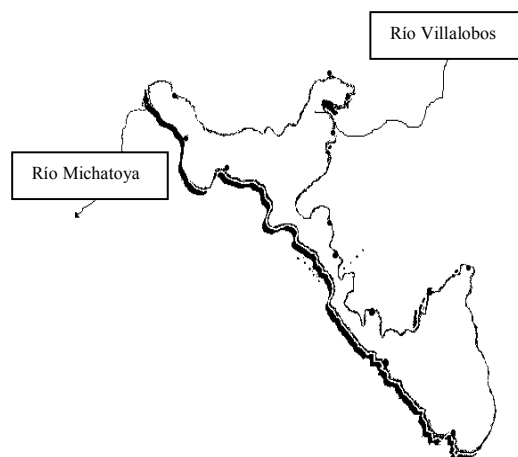
⁴ Todos los esquemas no tienen escala y las isolíneas de concentración intermedias entre las estaciones son aproximadas. Todas las concentraciones son en miligramos por litro (mg/L) a excepción de los coliformes fecales los cuales están dados en número más probables por cada 100 centímetros cúbicos (NMP/100 cm³).

7.7.2 Demanda bioquímica de oxígeno (esquemas No. 7 y No.8)

En ambas épocas existe el mismo comportamiento. La menor demanda se da en el lado este; el lado oeste y la salida al río Michatoya se mantienen con concentraciones relativamente iguales. La mayor demanda se da en la desembocadura del río Villalobos.



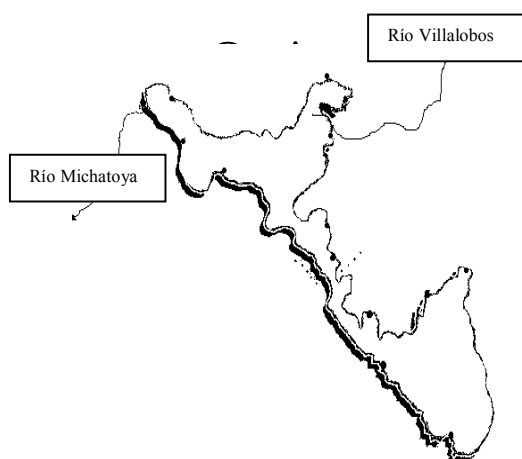
Esquema no.7: variación espacial promedio de la DBO en época seca



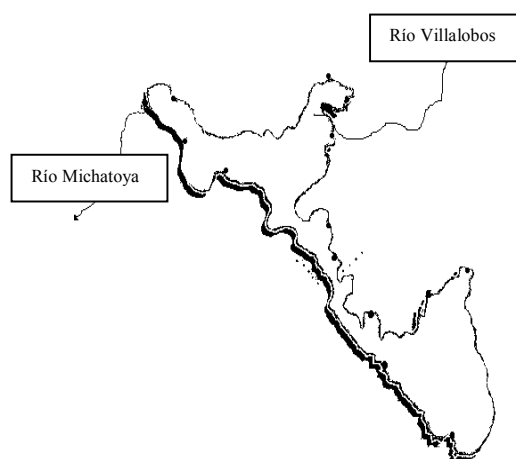
Esquema no.8: variación espacial promedio de la DBO en época lluviosa

7.7.3 Nitrógeno (esquemas No. 9 y No.10)

En verano las concentraciones en la entrada y la salida del lago son mayores que en invierno. Caso contrario ocurre en el lado este y oeste, donde las concentraciones de este parámetro son mayores en invierno. En general el comportamiento es similar en ambas épocas, en ambos lados del lago (este y oeste) se mantienen concentraciones similares y en la salida se tiene aproximadamente el 70,0% de lo que entra al lago.



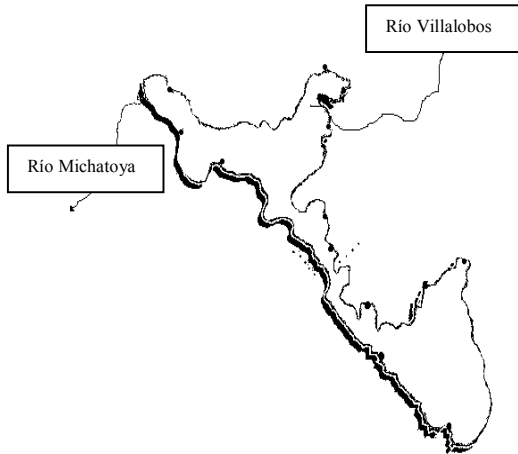
Esquema No.9: Variación espacial promedio del Nitrógeno época seca



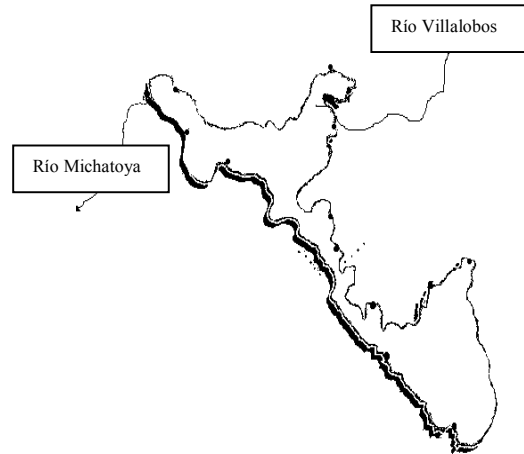
Esquema No.10: Variación espacial promedio del Nitrógeno en época lluviosa

7.7.4 Oxígeno disuelto (esquemas No. 11 y No.12)

En todo el año existe el mismo comportamiento: entre el lado este y el oeste se tienen concentraciones similares y en la salida se tiene aproximadamente un 33,0% más de lo que se registra en la desembocadura del río Villalobos.



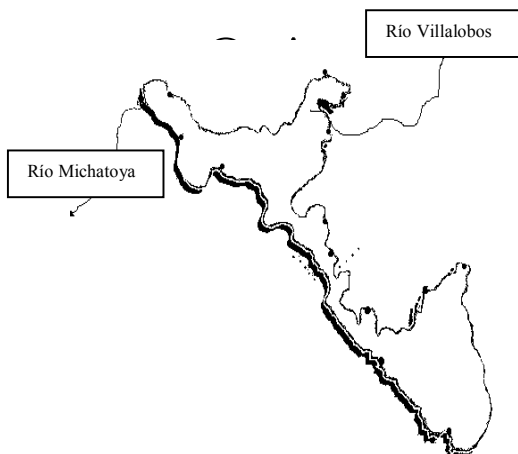
Esquema No.11: Variación espacial promedio del oxígeno disuelto en época seca



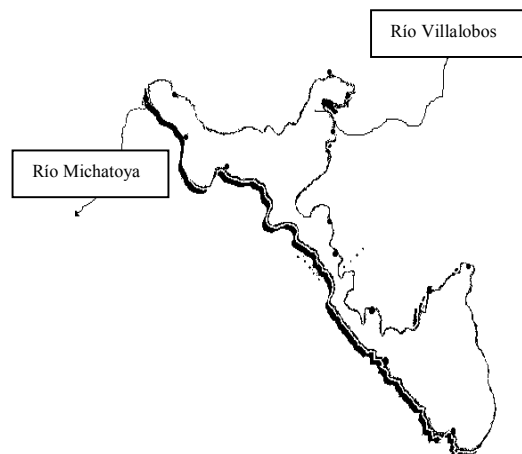
Esquema No.12: Variación espacial promedio del oxígeno disuelto en época lluviosa

7.7.5 Coliformes fecales (esquemas No. 13 y No.14)

En época lluviosa el lado este presenta menor contaminación biológica en comparación con las otras tres estaciones. En la salida se tiene que disminuye la concentración, en comparación con lo registrado en el lado oeste y la desembocadura del río Villalobos. En la época seca el comportamiento es similar que la época lluviosa. Sin embargo las concentraciones promedio de ambos lados del lago son menores en época seca. La entrada y la salida tienen mayores concentraciones de coliformes fecales en comparación con los mismos puntos pero en época lluviosa.



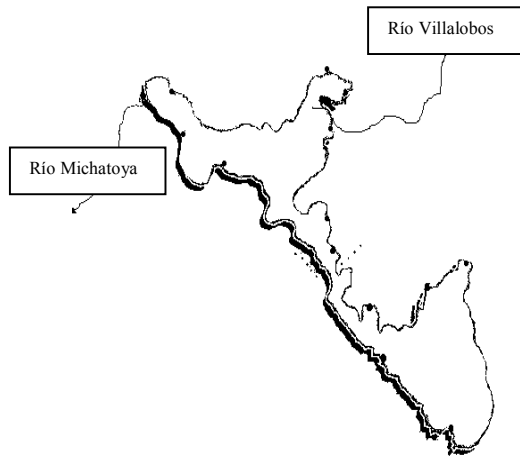
Esquema No.13: Variación espacial promedio de coliformes Fecales en época seca



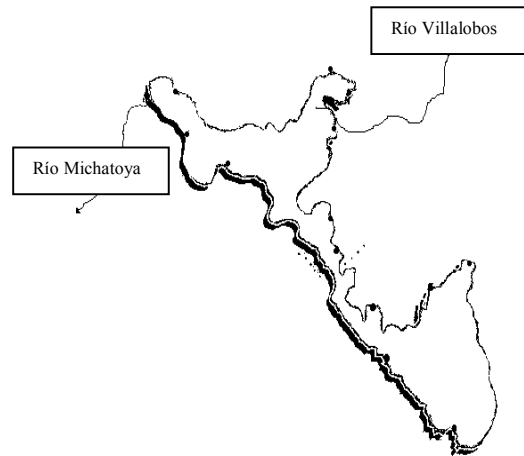
Esquema No.14: Variación espacial promedio de coliformes fecales en época lluviosa

7.7.6 Sólidos disueltos (esquemas No. 15 y No.16)

Comportamiento similar durante todo el año. La menor concentración se da en el lado este y tiende a aumentar hacia el lado oeste en 18%; en esta parte del lago las concentraciones son similares en los tres puntos de monitoreo.



Esquema No.15: Variación espacial promedio de sólidos disueltos en época seca



Esquema No.16: Variación espacial promedio de sólidos disueltos en época lluviosa

8. CONCLUSIONES

1. La hipótesis queda confirmada con los resultados obtenidos:
 - a. Estación del centro lado Este "A":
 - i. Existe positivamente correlación lineal entre los parámetros coliformes totales - coliformes fecales (ambas épocas), sólidos totales - sólidos disueltos (ambas épocas), DBO - coliformes totales (ambas épocas) y DBO – coliformes fecales (época seca).
 - ii. En lo referente al comportamiento se tiene en promedio: los nutrientes disminuyeron a valores de 0,50 mg/L, manteniéndose por debajo del límite aceptable. Los sólidos disueltos han aumentado 2,5 veces (pero se mantienen por debajo del límite máximo aceptable); La DBO ha aumentado 2,0 veces; los coliformes totales han aumentado 4,0 veces.
 - b. Estación del centro lado Oeste "B":
 - i. Existe positivamente correlación lineal entre los parámetros coliformes totales - coliformes fecales (ambas épocas), turbiedad – sólidos totales (época seca), DBO - coliformes totales (ambas épocas) y DBO – coliformes fecales (ambas épocas).
 - ii. En lo referente al comportamiento se tiene en promedio: los nutrientes se han mantenido en concentraciones de 0,50 mg/L; los sólidos disueltos han aumentado 2,5 veces (pero se mantienen por debajo del límite máximo aceptable); la DBO ha aumentado 3,0 veces; los coliformes totales han aumentado 4,5 veces.
 - c. Estación entrada del río Villalobos "V":
 - i. Sí existe correlación lineal entre los parámetros fósforo – nitrógeno (época seca), DBO – oxígeno disuelto (ambas épocas), coliformes totales - coliformes fecales (ambas épocas), nitrógeno – temperatura (época seca), DBO - coliformes totales (ambas épocas) y DBO – coliformes fecales (ambas épocas).
 - ii. En lo referente al comportamiento se tiene en promedio: los nutrientes presentan comportamiento uniforme y están arriba de 1,0 mg/L (fuera del límite mínimo aceptable en fuentes de agua); los sólidos disueltos han aumentado 3,5 veces (pero se mantienen por debajo del límite máximo aceptable); la DBO ha aumentado 3,5 veces; los coliformes totales han aumentado 7,0 veces.
 - d. Estación salida al río Michatoya "M":
 - i. Sí existe correlación lineal entre los parámetros fósforo – nitrógeno (época seca), DBO – oxígeno disuelto (ambas épocas), coliformes totales - coliformes fecales (ambas épocas), DBO - coliformes totales (ambas épocas) y DBO – coliformes fecales (ambas épocas).
 - ii. En lo referente al comportamiento se tiene en promedio: los nutrientes se han mantenido en concentraciones menores de 1,0 mg/L; los

- sólidos disueltos han aumentado 1,5 veces (pero se mantienen por debajo del límite máximo aceptable); la DBO ha aumentado 1,5 veces; los coliformes totales han aumentado 7,0 veces.
- e. Por la combinación de información de un mismo parámetro entre las diferentes estaciones, sí existe correlación lineal en los parámetros siguientes:
 - i. Estación A y estación B: temperatura, coliformes fecales en época lluviosa y sólidos totales, oxígeno disuelto en época seca.
 - ii. Estación A y estación V: fósforo, coliformes fecales en época lluviosa y sólidos totales, sólidos disueltos, oxígeno disuelto en época seca.
 - iii. Estación A y la estación M: fósforo, DBO, coliformes fecales en época lluviosa y sólidos totales, oxígeno disuelto en época seca.
 - iv. Estación B y la estación V: sólidos totales, temperatura, coliformes fecales, coliformes totales en época lluviosa y oxígeno disuelto en época seca.
 - v. Estación B y la estación M: sólidos totales, sólidos disueltos, DBO, temperatura, coliformes fecales, coliformes totales en época lluviosa y oxígeno disuelto en época seca.
 - vi. Estación B y la estación M: fósforo, sólidos totales, sólidos disueltos, DBO, nitrógeno, temperatura en época lluviosa y turbiedad, fósforo, sólidos disueltos, DBO, nitrógeno, temperatura, oxígeno disuelto, coliformes totales en época seca.
 2. Los parámetros con coeficientes cercanos a cero, indican que no necesariamente su correlación debe ser lineal, pueden presentar otro tipo de correlación, por lo que no se descarta la relación física, química y biológica que existe entre ellos, descrita en el punto 7.5.
 3. La variación espacial promedio (páginas 34 a 37) indica que la estación de monitoreo ubicada en la entrada del río Villalobos es la que registra las mayores concentraciones de contaminantes físicos, químicos y biológicos en ambas épocas del año, debido a que a éste punto llegan las aguas contaminadas (domésticas e industriales) de todos los tributarios descritos en la página 4.
 4. En los meses de noviembre a abril, los parámetros tienden a tener más correlación y uniformidad de comportamiento en cada estación de monitoreo. Caso contrario ocurre en la época lluviosa donde el comportamiento de los parámetros es caótico debido principalmente a los efectos climáticos que afectan para que no se tenga un comportamiento definido de los parámetros.
 5. El análisis estadístico y del comportamiento realizado a parámetros de calidad del agua del lago de Amatitlán sirve para:
 - a. Comprobar que no todos los parámetros tienen correlación lineal.
 - b. Utilizar las ecuaciones de inferencia para posteriores monitoreos y comparar estos resultados con análisis de laboratorio.
 - c. Tomar decisiones y ponerlas en marcha.
 - d. Conocer el comportamiento hasta el año 2001.

9. RECOMENDACIONES

A las instituciones públicas, privadas y personas individuales que tienen el deseo de contribuir a mejorar y conocer mejor la situación del lago:

1. La presente investigación debe servir como base para estudios posteriores, ya que a través de su lectura e interpretación establece una metodología que podría ser utilizada para complementar y enriquecer más la realización de trabajos similares a nivel nacional.
2. Por los resultados en los coeficientes de correlación y determinación obtenidos, se recomienda utilizar las ecuaciones (página 22) para determinar uno de dos parámetros en los siguientes puntos y épocas:
 - a) Estación A: Época lluviosa: coliformes totales ó coliformes fecales. Época seca: coliformes totales ó coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno ó coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno ó coliformes fecales.
 - b) Estación B: En época lluviosa coliformes totales ó coliformes fecales y en época seca demanda bioquímica de oxígeno ó coliformes totales.
 - c) Estación V: En época lluviosa coliformes totales ó coliformes fecales. En época seca nitrógeno ó fósforo, coliformes totales ó coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno ó coliformes fecales.
 - d) Estación M: En la época lluviosa coliformes totales ó coliformes fecales. En época seca coliformes fecales ó coliformes totales, coliformes totales ó demanda bioquímica de oxígeno.
3. Por los resultados en los coeficientes de correlación y determinación y por la facilidad de acceso al punto de muestreo, se recomienda utilizar las ecuaciones (página 23) para determinar uno de los parámetros en los siguientes puntos y épocas:
 - a) Conocer la concentración de coliformes totales en la estación "B" (en laboratorio) para inferir la concentración de coliformes totales en la estación "V" en época lluviosa.
 - b) Conocer la concentración de coliformes fecales en la estación "B" (en laboratorio) para inferir la concentración de coliformes fecales en la estación "V" en época lluviosa.
 - c) Conocer la concentración de fósforo total en la estación "M" (en laboratorio) para inferir la concentración de fósforo total en la estación "V" en época lluviosa.
 - d) Conocer la temperatura en la estación "M" para inferir la temperatura en la estación "V" en época lluviosa.
 - e) Conocer la concentración de sólidos disueltos en la estación "M" (en laboratorio) para inferir la concentración de sólidos disueltos en la estación "V" en época lluviosa.
 - f) Conocer la turbiedad en la estación "M" (en laboratorio) para inferir la turbiedad en la estación "A" en época lluviosa.

- g) Conocer la concentración del nitrógeno total en la estación "M" (en laboratorio) para inferir la concentración de nitrógeno total en la estación "V" en época lluviosa.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Basterrechea Díaz, Manuel. **Limnología del lago de Amatitlán**. Universidad de San Carlos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala, mayo 1986.
2. Basterrechea Díaz, Manuel. **El lago de Amatitlán, década de estudios limnológicos, 1985 – 1995**. Academia de ciencias médicas, físicas y naturales de Guatemala, diciembre 1997.
3. García García, Hayro Oswaldo. **Cuantificación de la calidad del agua del río Villalobos en época seca y lluviosa en un período de 24 horas 2 veces al mes en un punto previo a la entrada al lago de Amatitlán**. Estudio especial, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS-, Universidad San Carlos, Facultad de ingeniería, 2 002.
4. Muñoz, C. E. **La eutrofización del lago de Amatitlán**. Estudio especial, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS-, Universidad San Carlos, Facultad de ingeniería, 1973.
5. Murray R. Spiegel. **Estadística, teoría y problemas**. Editorial Mc Graw-Hill. 1969.
6. Romero Rojas, Jairo Alberto. **Calidad del agua**. Editorial Alfaomega, Colombia, 1999.
7. Tabarini de Abreu, Alba. **Eutrofización del lago de Amatitlán**. Estudio presentado en el XIII Congreso Centroamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Marzo 1981.
8. Valladares Morales, Juan Fernando. **Caracterización fisicoquímica de los afluentes del río Villalobos**. Estudio especial, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS-, Universidad San Carlos, Facultad de ingeniería, 1 999.
9. **Monitoreo de la calidad del agua del lago de Amatitlán**. Investigación del curso de Limnología y saneamiento de corrientes, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS-, Universidad San Carlos, Facultad de ingeniería, Abril 2002.
10. **Situación actual del lago de Amatitlán**. Investigación del curso de Limnología y saneamiento de corrientes, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS-, Universidad San Carlos, Facultad de ingeniería, 2001.
11. **Boletín informativo**. Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y el lago de Amatitlán –AMSA-, 2002.
12. **Cuenca del lago de Amatitlán, caracterización físico biótica, Volumen I**. Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y el lago de Amatitlán –AMSA-, 2001.

11. ANEXOS

- 11.1 Información de la estación centro lado Este en época lluviosa
- 11.2 Información de la estación centro lado Este en época seca
- 11.3 Información de la estación centro lado Oeste en época lluviosa
- 11.4 Información de la estación centro lado Oeste en época seca
- 11.5 Información de la estación salida al río Michatoya en época lluviosa
- 11.6 Información de la estación salida al río Michatoya en época seca
- 11.7 Información de la estación entrada del río Villalobos en época lluviosa
- 11.8 Información de la estación entrada del río Villalobos en época seca
- 11.9 Tablas de límites de confianza de coliformes totales y coliformes fecales
- 11.10 Gráficos de dispersión
- 11.11 Gráficos del comportamiento observado en cada estación