



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA-USAC-  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE**

**“Interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la microcuenca del Río Villalobos, principal tributario del Lago de Amatitlán, durante los años 1996 a 2006”**

LICENCIADA QUÍMICA BIÓLOGA  
NORMA EDITH GIL RODAS DE CASTILLO

ASESORADA POR  
M.Sc. HAYRO OSWALDO GARCIA GARCIA

GUATEMALA, OCTUBRE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**“Interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la microcuenca del Río Villalobos, principal tributario del Lago de Amatitlán, durante los años 1996 a 2006”**

TESIS

PRESENTADA AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE

POR

LICDA. QUIMICA BIOLOGA

NORMA EDITH GIL RODAS DE CASTILLO

ASESORADA POR

M.Sc. HAYRO OSWALDO GARCIA GARCIA

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE

GUATEMALA,

OCTUBRE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Ing. Murphy Olympto Paíz Recinos  
Secretaria: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas  
Vocal I: Inga. Glenda Patricia García Soria  
Vocal II: Inga. Alba Martiza Guerrero Spinola  
Vocal III: Ing. Miguel Angel Dávila Calderón  
Vocal IV: Br. Milton De León Bran  
Vocal V: Br. Isaac Sultán Mejía

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ  
EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS

Decano: Ing. Murphy Olympto Paíz Recinos  
Secretaria: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas  
Examinador: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Examinador: Ing. César Augusto Akú Castillo  
Examinador: Ing. Mario Francisco Rousselin Sandoval

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de tesis titulado

**“Interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la Microcuenca del Río Villalobos, principal tributario del Lago de Amatitlán, durante los años 1996 a 2006”**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios Postgrado en junio 2007



LICDA. NORMA EDITH GIL RODAS DE CASTILLO



Guatemala 10 de octubre 2008

M.Sc. Ingeniero  
Carlos Pérez  
Director  
Escuela de Post-Grado  
Facultad de Ingeniería

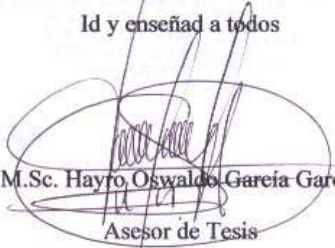
Ingeniero Pérez:

Respetuosamente me dirijo a usted, para informarle por medio de la presente que he revisado y aprobado el Informe final de Tesis **“Interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la Microcuenca del Río Villalobos, principal tributario del Lago de Amatitlán, durante los años 1996 a 2006”**, realizado por la Licenciada Norma Edith Gil Rodas de Castillo.

El informe final de tesis cumple con los requisitos exigidos por el Reglamento de las Escuelas de Post-grado y de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular, me suscribo de usted:

Id y enseñad a todos

  
M.Sc. Hayro Oswaldo García García  
Asesor de Tesis

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, y revisor del trabajo de tesis titulado **INTERPRETACIÓN QUIMIOMÉTRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS QUE CONFORMAN LA MICROCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, PRINCIPAL TRIBUTARIO DEL LAGO DE AMATILÁN, DURANTE LOS AÑOS 1996 A 2006**, presentado por la Licenciada Química Bióloga **Norma Edith Gil Rodas de Castillo**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. César Augusto Akú  
Escuela de Estudios de Postgrado

**César Akú Castillo**  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO 4,073

Guatemala, Octubre de 2008.

/zc.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis titulado **INTERPRETACIÓN QUIMIOMÉTRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS QUE CONFORMAN LA MICROCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, PRINCIPAL TRIBUTARIO DEL LAGO DE AMATITLÁN, DURANTE LOS AÑOS 1996 A 2006**, presentado por la Licenciada Química Bióloga **Norma Edith Gil Rodas de Castillo** apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2008.

/zc.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente del trabajo de tesis titulado **INTERPRETACIÓN QUIMIOMÉTRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS QUE CONFORMAN LA MICROCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, PRINCIPAL TRIBUTARIO DEL LAGO DE AMATITLÁN, DURANTE LOS AÑOS 1996 A 2006**, presentado por la Licenciada Química Bióloga **Norma Edith Gil Rodas de Castillo**, apruebo el presente trabajo de tesis y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2008.

/zc.



Universidad de San Carlos  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. D. Postgrado 023.2008

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de tesis de la Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente titulado: **INTERPRETACIÓN QUIMIOMÉTRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS QUE CONFORMAN LA MICROCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, PRINCIPAL TRIBUTARIO DEL LAGO DE AMATILÁN, DURANTE LOS AÑOS 1996 A 2006**, presentado por la Licenciada Química Bióloga Norma Edith Gil Rodas de Castillo autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, Octubre de 2008

/zpcm

## AGRADECIMIENTOS

A Dios            Por haberme permitido la vida, la salud y el conocimiento.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

A mis asesores:    Doctora Ma. Dolores Galindo Riaño, por su paciencia y el tiempo dedicado para poder realizar la presente investigación.

M Sc. Hayro García García, por el apoyo brindado.

Licda. Elsa Jauregui, por su experiencia y buena voluntad.

A las instituciones: Universidad de Cádiz, España

Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del Lago de Amatitlán –AMSA.

Centro de Estudios del Mar y Acuicultura- CEMA- de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A los Ingenieros: Luis Escobar y Julio Taracena, por su colaboración durante el desarrollo de la presente tesis.

A la Señorita        Yuvixa Barrera, por su amabilidad

## DEDICATORIA

- A la memoria de mi madre: Amanda Alicia Rodas Bojorquez  
Quien siempre confió en mí, en que lograría las metas que me he trazado en la vida.
- A mi querido esposo: Lic. Francisco Antonio Castillo Gutiérrez  
Por su amor, paciencia y apoyo durante el desarrollo de los estudios de maestría y la investigación.
- A mis hijas: Amanda Nohemí Castillo Gil y  
Miriam Estela Castillo Gil, por el tiempo que les quité para realizar esta maestría y como un ejemplo de esfuerzo y dedicación.
- A mi querida suegra: Marina Estela Gutiérrez de Castillo  
Por ayudarme con el cuidado de mis hijas y su apoyo incondicional.
- A mis hermanos: Juan Carlos Rebulli Rodas y  
Marco Vinicio Gil Rodas, por su apoyo en todo momento.
- A mi querida amiga: Licda. Estrella del Lourdes Marroquín Guerra  
Por su amistad y cariño.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VI
RESUMEN	VII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	VIII
OBJETIVOS	IX
HIPOTESIS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEORICO	5
2.1. Descripción de la cuenca del Río Villalobos	5
2.2. Descripción de los puntos de muestreo	8
2.3. Análisis de calidad del agua	24
2.4. Indicadores Fisicoquímicos de la contaminación del agua	38
2.5. Indicadores biológicos de la contaminación del agua	43
2.6. Métodos estadísticos	46
3.    METODOLOGÍA	53
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXO	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Número de figura	Página
1. Mapa de ubicación geográfica de los puntos de muestreo	10
2. Foto del Río Chanquín	11
3. Foto del Río Guadrón	12
4. Foto del punto de muestreo La Cerra	13
5. Foto de la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán	14
6. Foto del Río Pansalic	15
7. Foto del Río San Lucas	16
8. Foto del Río Pinula	17
9. Foto de sedimentador El Molino	18
10. Foto del Río Zacatal	19
11. Foto de Zanjón La Palín	20
12. Foto del Río El Frutal	21
13. Foto del Río Las Minas	22
14. Foto del Río Tulujá	23
15. Determinación del pH en diferentes puntos de muestreo	70
16. Oxígeno disuelto en diferentes puntos de muestreo	71
17. Temperatura en °C en diferentes puntos de muestreo	73
18. Sólidos disueltos totales en mg/l en diferentes puntos de muestreo	74
19. Sólidos sedimentables por punto de muestreo	75
20. Sólidos en suspensión por punto de muestreo	76
21. Sólidos totales por punto de muestreo	77
22. Dureza en mg/l de CaCO <sub>3</sub> por puntos de muestreo	78
23. Turbidez en UTN, por punto de muestreo	79
24. Fósforo total en mg/l por punto de muestreo	80
25. Nitrógeno total por punto de muestreo	81

26.	Grasas y aceites por punto de muestreo	82
27.	Plomo en mg/l por puntos de muestreo	83
28.	Cadmio en mg/l por puntos de muestreo	84
29.	Cromo en mg/l por puntos de muestreo	85
30.	Cobre en mg/l por puntos de muestreo	86
31.	Cianuro en mg/l por puntos de muestreo	87
32.	Resultados de la determinación del silicio por puntos de muestreo	88
33.	Demanda química de oxígeno por puntos de muestreo	89
34.	Demanda Bioquímica de Oxígeno por puntos de muestreo	90
35.	Coliformes totales por punto de muestreo	91
36.	Coliformes fecales por puntos de muestreo	92
37.	Temperatura en °C entre los años 1996 a 2006	95
38.	Grasas y aceites entre los años 1996 a 2006	96
39.	Plomo entre los años 1996 a 2006	97
40.	Cadmio entre los años 1996 a 2006	98
41.	Cromo en mg/l entre los años 1996 a 2006	99
42.	Análisis de Cluster para 22 variables	101
43.	Análisis de Cluster para todas las variables con eje X	102
44.	Gráfica de sedimentación de autovalores (eigenvalue)	106
45.	Rotación Varimax entre el Factor 1 y Factor 2	110
46.	Rotación Varimax entre el Factor 3 y Factor 4	111
47.	Tendencia de la temperatura desde los años 1996 a 2006	121
48.	Precipitación pluvial en mm entre los años 1996 a 2006	122

## LISTA DE SIMBOLOS

°C	grados centígrados
As	Arsénico
Cd	Cadmio
CN	Cianuro
Co	Cobalto
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de variabilidad
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DS	Desviación Estándar
GRA	Grasas y aceites
Hg	Mercurio
L	Litros
mg	Miligramos
Mn	Manganeso
N	Nitrógeno
NH <sub>4</sub>	Amonio
Ni	Níquel
NMP	Número más probable
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
O <sub>2</sub>	Oxígeno disuelto
P	Fósforo
Pb	Plomo
pH	Potencial de Hidrógeno
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Ortofosfato
SDT	Sólidos disueltos totales
Se	Selenio
Si	Silicio
Sr	Estroncio
Ti	Titanio
µg	Microgramos
UTN	Unidades de turbidez Nefelométrica
V	Vanadio



## GLOSARIO

Alóctona	Contaminación extraña que llega al cuerpo de agua
AMSA	Autoridad para el Manejo sustentable de la cuenca del Lago de Amatitlán
APHA	American Public Health Association
Autóctona	Contaminación producida por el mismo cuerpo de agua
CAPRE	Comité coordinador regional de instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica y Panamá.
Cluster	Agrupamiento
COGUANOR	Comisión guatemalteca de normas
Eutroficación	Eutroficación, igual eutrofización, proceso de enriquecimiento por nutrientes en el agua.
INSIVUMEH: hidrología	Instituto de Sismología, vulcanología, Meteorología e hidrología
OMS	Organización Mundial para la Salud
OPS	Organización Panamericana de la salud
Varimax factorial	Método de rotación ortogonal de los factores en el análisis factorial

## RESUMEN

Con la presente investigación se trató de sistematizar, analizar e ilustrar la información generada por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán –AMSA, realizada por monitoreos sistemáticos mensuales en la microcuenca del Río Villalobos durante once años a partir del año 1996 hasta el año 2006.

Se tomó en cuenta los resultados de 22 parámetros de catorce puntos de muestreo, los cuales fueron colocados tomando en cuenta los principales tributarios del Río Villalobos, para lo cual se delimitó la cuenca del Lago de Amatitlán, localizando la geoposición de cada punto de muestreo para poder determinar cuáles son los factores que contribuyen a que en determinado punto, se aumente o disminuya la contaminación del río.

Se pudo realizar una interpretación temporal y espacial de los diferentes parámetros analizados. Temporal porque se evaluó la variabilidad de los parámetros en el tiempo es decir en los once años monitoreados, para ello solamente se analizó los puntos de muestreo que tenían los once años completos. La evaluación espacial se realizó, por medio de tratar de interpretar los cambios que se dieron de un mismo parámetro en los diferentes puntos de muestreo.

La investigación, demostró que la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán, es la principal fuente de contaminación del mismo, ya que todos los parámetros analizados demostraron niveles altos de compuestos químicos que contribuyen a degradar la calidad del agua del Lago de Amatitlán. También se demostró que los ríos que presentaron menor contaminación son aquellos que tienen en su cause, un sedimentador, el cual contribuye a eliminar la materia orgánica gruesa que puede quedarse atrapada en los mismos, disminuyendo con esto el grado de contaminación del Río Villalobos.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

### **Planteamiento del problema**

El Río Villalobos se ha monitoreado durante más de 11 años (1996-2006), pero los resultados solamente se presentan en cuadros de resumen, donde se incluyen los promedios anuales, lo cual es difícil de visualizar y entender, por lo que en la presente investigación se pretende contestar las siguiente interrogante ¿Será posible sistematizar y analizar la tendencia de los resultados de 22 análisis fisicoquímicos, efectuados a los largo de la cuenca del Río Villalobos, en catorce puntos de muestreo durante once años?. La información recolectada podrá servir para establecer la evolución temporal y espacial del problema en forma holística.

### **Justificación**

Debido a la problemática de la contaminación de la cuenca del Lago de Amatitlán, se hace necesario recopilar y analizar los datos de 11 años de monitoreos, de los ríos que conforman la cuenca, los cuales son afluentes del Río Villalobos, el cual drena al Lago de Amatitlán, con todas sus descargas de aguas residuales que ha recibido durante su recorrido; el presente estudio ayudará a conocer los niveles de contaminación, comparándolo con normativas nacionales e internacionales, para que las autoridades responsables del ambiente puedan observar la evolución que dicho cuerpo de agua ha tenido desde el año 1996 hasta el año 2006 y con ello puedan tomar las medidas necesarias para evitar que el deterioro de la cuenca se siga dando.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Interpretar quimiométricamente, los resultados de veintidós parámetros de calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua, correspondientes a catorce afluentes que drenan al Río Villalobos, monitoreados durante el período 1996 a 2006.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar la tendencia de los parámetros de calidad del agua, con respecto al mantenimiento de la vida y a la contaminación del agua.
2. Especificar la confiabilidad de los promedios anuales de los resultados de veintidós parámetros de calidad del agua, de los principales afluentes del Río Villalobos.
3. Evaluar la variabilidad de las medias anuales de los diferentes parámetros de calidad del agua, por puntos de muestreo, indicando cuál de los mismos contribuye a deteriorar o mejorar la calidad del agua del Río Villalobos.
4. Establecer la evolución temporal de la tendencia de la varianza de los parámetros de calidad del agua, entre los años muestreados 1996 a 2006
5. Comprobar la relación de agrupación existente entre los veintidós parámetros de calidad del agua estudiados en los catorce puntos de muestreo, durante once años.
6. Identificar las variables fundamentales o factores subyacentes (ambientales, geográficos e industriales) que expliquen de mejor manera la configuración del conjunto de los resultados de los veintidós análisis efectuados a los catorce puntos de muestreo y sus correlaciones
7. Correlacionar los principales factores que afectan la calidad del agua del Río Villalobos, identificando cuál es el más influyente.

## **HIPOTESIS**

- El agua del Río Villalobos a ido aumentando el acarreo de contaminantes físicos, químicos y bacteriológicos en el tiempo y espacio, es decir que a medida que transcurren los años el agua de los afluentes de este río acarrearán más contaminantes, lo cual contribuye a degradar la calidad del agua del Lago de Amatitlán.

## INTRODUCCIÓN

Desde el año 1996 al 2006, se generó información sistemática de parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad del agua de los ríos que conforman, la cuenca y del Lago de Amatitlán, por parte de la División de Control Ambiental y el laboratorio de Calidad del agua, de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y el Lago de Amatitlán-AMSA-, los cuales se tabularon mensualmente, calculándose los promedios mensuales y anuales.

Durante la presente investigación se realizó una interpretación quimiométrica, del promedio anual de los resultados de diferentes parámetros evaluados, de los principales afluentes del Río Villalobos. Se tomaron en cuenta solamente catorce puntos de muestreo, ya que los mismos presentan resultados de los once años de muestreos sistemáticos, utilizando las mismas técnicas de campo y de laboratorio. Se elaboró una base de datos, multiplicando 11 años, por catorce puntos de muestreo, por veintidós parámetros analizados en cada punto, haciendo un total de tres mil trescientos ochenta y ocho datos de resultados de calidad del agua.

Para analizar la información se utilizaron diversas metodologías estadísticas, entre las que se encuentran las siguientes: Estadística descriptiva, Análisis de Varianza de una vía entre puntos de muestreo, Análisis de Varianza de una vía entre los diferentes años investigados, análisis de Cluster y Análisis Factorial.

Se pretendió dar una interpretación temporal y espacial de la información de la calidad del agua del Río Villalobos. Con la finalidad de que la investigación, sirva de referencia para estudios futuros y que las autoridades responsables puedan reconocer el deterioro que el Río Villalobos ha sufrido, durante el período evaluado y hacer proyecciones de la evolución que el mismo puede llegar a tener, en un futuro no muy lejano.

## 1. ANTECEDENTES

El Lago de Amatitlán es un recurso de agua que ha tenido gran importancia para el país, porque ha sido utilizado para descargar las aguas residuales domésticas y agroindustriales de su cuenca tributaria; como embalse para la hidroeléctrica Jurún Marinalá; para el enfriamiento de la termoeléctrica La Laguna; para pesca; para abastecimiento de agua, recreación y turismo (Basterrechea, 1997).

El Lago de Amatitlán recibe las aguas de la microcuenca del Río Villalobos, ubicada en la parte más alta de la cuenca del Río María Linda que drena al Océano Pacífico. La parte sur de la Ciudad de Guatemala está localizada en la cabecera de la cuenca a 1500 metros sobre el nivel del mar (msnm), que drena al lago ubicado a 1186 msnm.

Muy pocos han sido los estudios que se han realizado bajo un enfoque integral, donde el lago y su cuenca se visualicen como ecosistemas que forman una unidad. El primer trabajo fue realizado de mayo 1969 a diciembre 1970 ("Weiss, 1971); el segundo de agosto 1972 a junio 1974 (ERIS, 1976) y el tercero de octubre 1986 a mayo 1987 (CATIE 1987).

Desde 1985 a 1995 se generó información limnológica del Lago de Amatitlán y de la calidad del agua de los ríos tributarios y pozos, lo cual se publicó en el trabajo titulado "El Lago de Amatitlán: Década de estudios Limnológicos, 1985 a 1995", escrito por Manuel Basterrechea en 1997.

Otras investigaciones realizadas en el Lago de Amatitlán y su cuenca, relacionados con metales pesados son los siguientes:

En 1981, Pineda González, José Ramón, en el estudio titulado "Determinación de cobre, mercurio y plomo en aguas y sedimentos del Lago de Amatitlán", reportó los siguientes resultados:



cobre (Cu)

En aguas como metales en solución	= no detectable
En aguas como metal extraíble	= no detectable
En aguas como metal total	= 0.414 mg/l
En sedimentos como metal total	= 167.31 mg/Kg

plomo (Pb)

En aguas como metal en solución	= no detectable
En aguas como metal extraíble	= no detectable
En aguas como metal total	= 1.583 mg/l
En sedimentos como metal total	= 149.07 mg/Kg

El mercurio (Hg) no se detectó en ninguna de las muestras, tanto en aguas como en sedimentos.

En 1987, Beltrán Paíz, Ana Beatriz, en la investigación titulada: "Determinación de los niveles fluctuantes de los nutrientes: amonio, nitrito y ortofosfato para la cuantificación del grado de avance de la eutroficación del Lago de Amatitlán". Reportó los resultados siguientes:

amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	En aguas profundas	2.5 µg/L
	En aguas superficiales	1.4 µg/L
	En aguas medias	0.6 µg/L
nitritos (NO <sub>2</sub> )	En aguas profundas	2.4 µg/L
	En aguas medias	2.0 µg/L
	En aguas superficiales	1.0 µg/L
ortofosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	En aguas profundas	1.6 µg/L
	En aguas medias	1.6 µg/L
	En aguas superficiales	1.0 µg/L

En 1997, García García Hayro en la investigación titulada: Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr<sup>+6</sup>) y sustancias tóxicas (PO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> y CN) por métodos espectrofotométricos en tejido muscular de

*Chichlasoma manguense* (Gunter), guapote o pez tigre en el Lago de Amatitlán. Reportó los resultados siguientes:

plomo (Pb)	16.21 mg/l
Arsénico (As)	0.2 mg/l
cadmio (Cd)	1.1 mg/l
DBO	15.0 mg/l
DQO	35.0 mg/l
cromo (Cr <sup>+6</sup> )	5.0 mg/l
cobre (Cu)	0.8 mg/l

En 1997, Kestler realizó una determinación cuantitativa de metales pesados en mojarra negra y guapote tigre, encontrando concentraciones de los siguientes metales: Ca, Zn, Fe, Cu, Pb, Se, Sr, Mn, Cr, Ti, Ni, Co y V.

Roesch, (1998), realizó una determinación de algunos metales ecotóxicos y estudió los hábitos alimenticios del caracol *Pomacea sp.* del Lago de Amatitlán. A través de esta investigación, se detectaron concentraciones de plomo (1.001 ppm), cobre (6.13 ppm), cromo (0.885 ppm) y cadmio (0.970 ppm) en la carne del caracol.

Tetzaguic Car, Carlos (2003), realizó una sistematización de la información de la calidad del agua del Lago de Amatitlán, con parámetros que determinan su contaminación, en la cual demuestra que la contaminación del Lago de Amatitlán, se ha incrementado durante las últimas décadas, por lo que en la actualidad es el cuerpo de agua de Guatemala, que presenta la mayor contaminación física, química y biológica, debido a las descargas de agua servidas domésticas e industriales, que sin ningún tratamiento son transportadas por corrientes de agua (ríos y riachuelos) los cuales finalmente vierten estas aguas al Río Villalobos y éste transporta directamente al Lago de Amatitlán.

Fuentes Sthéfany (2006), en su trabajo de investigación titulado "Identificación, conteo y análisis espacial de los grupos de fitoplancton

presentes en el Lago de Amatitlán, durante los meses de mayo a julio del año 2005”, además de estudiar el fitoplancton, también evaluó los diferentes parámetros fisicoquímicos del agua de Lago de Amatitlán, reportó valores de Fosfatos de hasta 6 mg/l en aguas superficiales, Nitratos hasta 4 mg/l, Silicatos hasta 19 mg/l.

Esquivel López, Darío Alexander (2006), determinó la presencia de metales pesados en el agua de origen termal del Lago de Amatitlán, y en zonas aledaña. Pudo demostrar la presencia de metales pesados, en aguas termales, pero la concentración de los mismos no sobrepasan los límites máximos permisibles de las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para fuentes de agua y de la norma guatemalteca de agua potable COGUANOR, NGO 29.001.99. También demostró la presencia de los mismos en aguas de pozos de zonas aledañas al Lago de Amatitlán, las cuales no cumplen con los límites máximos permisibles en la guía y norma, por lo que las aguas no son aptas para consumo humano, sin un tratamiento previo.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. Descripción de la cuenca del Río Villalobos**

El Río Villalobos forma parte de la cuenca del Lago de Amatitlán. El Lago de Amatitlán, se encuentra ubicado a una latitud norte de 14° 30" y su cuenca de 368 km<sup>2</sup>, abarcando la parte sur de la Ciudad de Guatemala (AMSA, 2004).

Cuenca hidrográfica, es el territorio en que las aguas convergen hacia los puntos más bajos de la superficie del mismo y se unen en una corriente resultante o río principal que las evacua hacia un lago, mar u océano. Sus límites deben coincidir con líneas de cimas de montañas que marca la divisoria de las aguas entre vertientes (Herrera, 2007).

Continúa mencionando Herrera (2007) en "Guía para el manejo de cuencas hidrográficas", el criterio que se debe seguir para la clasificación de las cuencas, subcuencas y microcuencas debe ser estrictamente hidrológico. Esto quiere decir que la delimitación se hace siguiendo las líneas de división o líneas de parte-aguas, considerando los siguientes rangos de áreas:

A nivel de cuenca: Escalas de 1:100000 a 1:250000 y 1:500000 (áreas entre 100000 a 300000 hectáreas).

A nivel de subcuencas: Escalas 1:50000 (áreas entre 30000 a 60000 hectáreas)

A nivel de microcuencas: Escalas  $\geq$  1:25000 (áreas de 2000 a 12000 ha)

La cuenca del Lago de Amatitlán es una subcuenca del Río María Linda (1,13 de la Vertiente del Pacífico), la altitud varía entre 1186 y 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm). La parte alta de la cuenca del Lago de Amatitlán es escarpada con mesetas planas; la parte media es de escarpada a ondulada y la parte baja es de ondulada a plana (AMSA, 2004).

La cuenca está formada por catorce municipios, algunos del departamento de Guatemala y otros del departamento de Sacatepéquez. De éstos, siete tienen influencia directa en el lago, debido al impacto producido por

la degradación de los recursos naturales, siendo: los municipios de Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, Mixco, Amatitlán y la Ciudad de Guatemala (parte sur de la ciudad capital, zonas 7, 11, 12, 13 y 21). La población de la cuenca es aproximadamente dos millones de personas, siendo el municipio de Villa Nueva el más poblado (AMSA, 2004).

En la cuenca se ubican diversos accidentes geográficos, tales como: lagos, ríos, cerros, quebradas y montañas. También en ellas se encuentra ubicada la mayor parte de la industria nacional y numerosas áreas de vivienda (AMSA, 2004).

Los suelos que conforman la cuenca de los lagos son, básicamente, formaciones de origen volcánico de diferentes épocas las que a través del tiempo han ido consolidándose hasta llegar a formaciones de roca. Estos son de color café, de textura franca a franca arcillosa, para los suelos superficiales, siendo ligeramente ácidos y de un espesor que varía de 25 a 30 centímetros.

Los subsuelos por lo general son de una textura franco arcillosa un potencial de hidrógeno ligeramente ácido, de color café rojizo y con una profundidad en algunos casos de más de un metro (AMSA, 2004).

La cuenca del Río Villalobos está compuesta por aluvión, estando la parte norte del lago, compuesta por sedimentos eólicos, flujo de ceniza, sedimentos fluviales y lacustres y sufriendo los riesgos de licuefacción e inundaciones. Superficialmente, los suelos están formados por una capa orgánica que varía entre 20 a 25 centímetros de profundidad, formaciones de arena blanca, materiales de relleno, roca y disposiciones volcánicas (AMSA, 2004).

Los ríos que forman parte de la cuenca del Río Villalobos son los siguientes: Río Las Flores, Río Pancochá, Río Pansalic, Río Palchiguajá, Río Mariscal, Río Mansilla, Río San Lucas, Río Parrameño, Río Molino, Río Platanitos, Río Guadrón, Río Pinula, Río las Minas, Río blanco, Río Tulujá, Río el Molino y Río el Bosque.

El Tipo de drenaje está bien definido por la estructura geológica y la forma general del terreno. Presenta un drenaje de tipo dendrítico que define a la subcuenca con una densa y bien distribuida red de drenajes, que permite sin problemas, la evacuación de las precipitaciones de su área. Los rasgos característicos de las corrientes que lo conforman pueden resumirse como sigue:

Río Villalobos: es la corriente principal, aguas arriba del Lago de Amatitlán, se encuentra modificado tanto en su régimen natural de caudal como por tomas y derivaciones que existen sobre los principales afluentes a tal extremo que en algunos casos lo hacen desaparecer de su curso natural en longitudes apreciables. A la altura del puente del mismo nombre, se observa en la época seca, ausencia de escurrimiento superficial (Gutiérrez, 1994).

Río Las Minas: Los afluentes principales de este río son los llamados Río Molino, Río los Encuentros, los cuales presentan un caudal medio de 120 l/s. Aproximadamente (Gutiérrez, 1994).

Río El Bosque: Durante el verano es cuando conjuntamente con el Río Tulujá, en su totalidad es utilizado para el procesamiento del azúcar en los ingenios azucareros del municipio de Villa Canales (Gutiérrez, 1994).

Río Molino: Inicia su curso en los municipios de San Pedro y Santiago Sacatepequez, presenta escaso escurrimiento superficial en época de verano. Uno de los afluentes principales es el Río Mariscal (Gutiérrez, 1994).

Río Platanitos: A la altura del municipio de Villa Nueva, conduce un caudal del orden de los 10 l/s.

Los Ríos San Lucas y El Arenal, no presentan escurrimiento natural en época seca, pero se observa periódicamente escorrentía de drenajes de industrias textiles, las cuales se ubican cerca de los ríos provocando que el color del agua varíe conforme el tinte que están descartando (Gutiérrez, 1994).

## **2.2. Descripción de los puntos de muestreo**

Los afluentes del Río Villalobos estudiados en este trabajo se detallan en la tabla 1. Estos lugares son los puntos donde durante 11 años a partir del año 1996, se han realizado análisis de calidad del agua.

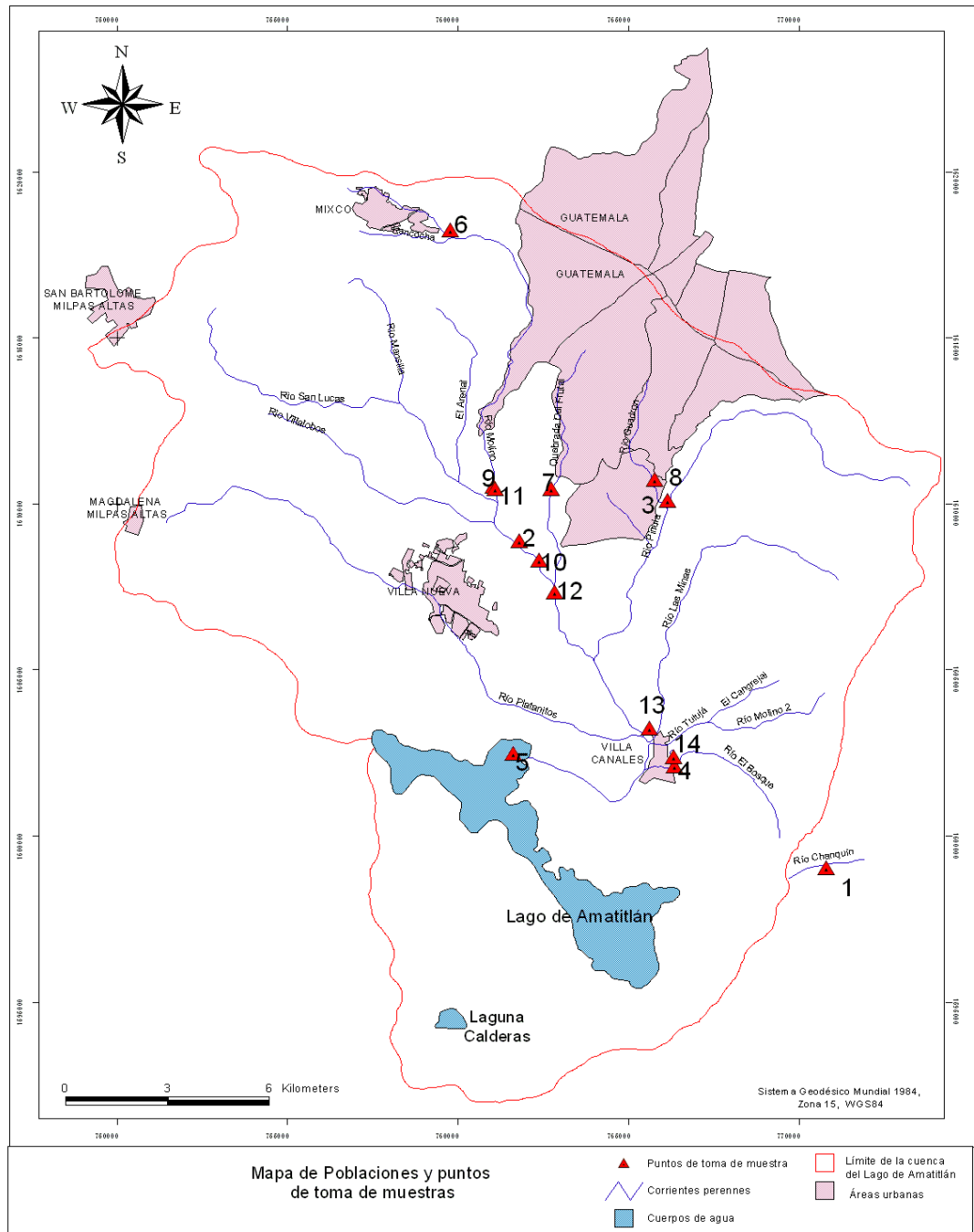
Cuando se menciona entre los puntos de muestreo el “El Sedimentador”, es porque en administraciones anteriores de la Autoridad para el Manejo Sostenible de la cuenca del Lago de Amatitlán-AMSA- colocaron una especie de diques construidos con piedras para que los principales desechos sólidos sedimentaran y no llegaran hasta el Lago de Amatitlán.

Se tomaron muestras en 14 estaciones de muestreo, detalladas en el mapa de la figura 1, donde se indican también los poblados más cercanos a los mismos.



**Tabla 1.** *Afluentes del río Villalobos muestreados y numeración asignada*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Nombre del río</b>
1	Río Chanquín
2	Sedimentador El Búcaro
3	Río Guadrón
4	La Cerra
5	Entrada del Río Villalobos al lago
6	Río Pansalic
7	Río San Lucas
8	Río Pinula
9	Sedimentador en Río Molino
10	Zacatal
11	Zanjón La Palín
12	Río El Frutal
13	Río Las Minas
14	Río Tulujá



**Figura 1.** Mapa de ubicación geográfica de los puntos de muestreo

### **2.2.1. Río Chanquín (punto de muestreo 1)**

Es un río (figura 2) inicia su caudal en el municipio de Villa Canales, pertenece a la microcuenca del Río Aguacapa, el cual es afluente del Río María Linda. Tiene sus límites al este-noreste de la aldea Santa Rosita. Su recorrido es de norte a sur, le afluyen la quebrada El Colmenar y el río Chiquimula. Cambia en su rumbo en dirección sureste. Se encuentra a una latitud de  $14^{\circ} 28' 25''$  N y tiene una longitud de 9 kilómetros. Por no estar conectado directamente con el Río Villalobos, es considerado el punto de comparación con los otros puntos de muestreo. Se encuentra a 1300 msnm.



***Figura 2. Foto del Río Chanquín.***

### **2.2.2. Sedimentador el Búcaro (punto de muestreo 2)**

Se encuentra en el municipio de San Miguel Petapa, entre el punto de muestreo del Zacatal y el Frutal, se encuentra a 1400 metros sobre el nivel del mar y se localiza en las siguientes coordenadas: Latitud 14° 32'05" Norte, Longitud 90°33'55" Oeste.

### **2.2.3. Río Guadrón (punto de muestreo 3)**

Río perteneciente al municipio de Guatemala (figura 3). Se origina como el Guadroncito cerca del Parque Nacional La Aurora zona 13. Su corrimiento es de norte a sur, pasa al este de la Aldea la Libertad y al oeste de la Aldea Guajitos, descargando en el Río Pinula.

Su trayectoria es de 8 kilómetros. Sus coordenadas son las siguientes: latitud 14° 43' 02" N y longitud 90° 31' 47" Oeste, encontrándose a 1300 msnm.



**Figura 3.** Foto del Río Guadrón



#### **2.2.4. La Cerra (punto de muestreo 4)**

La Cerra pertenece al municipio de Villa Canales, se forma por la pendiente de una pequeña montaña llamada del mismo nombre, ubicada a 1400 metros sobre el nivel del mar (msnm). Entre las siguientes coordenadas: latitud 14°28'43"Norte, Longitud 90°33'24" Oeste.

A este punto de muestreo se le llama la Cerra, pero el sitio exacto de la toma de muestras, se encuentra en el agua que pasa por el sedimentador, que entra a la planta de tratamiento de las aguas residuales del Municipio de Villa Canales (figura 4).



**Figura 4.** Foto de punto de muestreo La Cerra

### **2.2.5. Entrada del Río Villalobos al lago (punto de muestreo 5)**

El Río Villalobos desemboca en el lado oeste del Lago de Amatitlán, entra por el extremo sur del municipio de Villa Canales (figura 5). La mayor cantidad de contaminantes está siendo transportada al Lago de Amatitlán a través del Río Villalobos, el cual lleva un caudal promedio de 731 litros/segundo es decir  $731 \text{ m}^3/\text{segundo}$ . Este río aporta el 10 % del agua al lago la cual acarrea los drenajes de los municipios de la parte alta de la cuenca: Mixco, Guatemala, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales. En conjunto aportan un caudal de aguas servidas de  $58,125.48 \text{ m}^3/\text{día}$  o bien  $0.67 \text{ m}^3/\text{segundo}$  que sumados al año dan la cantidad de  $21215800,2 \text{ m}^3$ .

Ubicado a 1200 metros sobre el nivel del mar (msnm) a una latitud de  $14^{\circ}28'56''$  Norte, y una longitud de  $90^{\circ}32'22''$  Oeste.



**Figura 5.** Foto de la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán

### **2.2.6. Río Pansalic (punto de muestreo 6)**

Pansalic (figura 6) es tributario de la subcuenca del Río Molino. La subcuenca tiene un área total de 48,10 km<sup>2</sup> con una pendiente media de 16,32%. Ubicado a 1600 metros sobre el nivel del mar.



***Figura 6. Foto del Río Pansalic***



### **2.2.7. Río San Lucas (punto de muestreo 7)**

Tributario que nace en el municipio de San Lucas Sacatepéquez y recorre o pasa por los municipios de Mixco y Villa Nueva. Este río se une al sur en el caserío Villalobos en el Río Molino. Tiene una trayectoria aproximada de 13 kilómetros.

Se encuentra en las coordenadas  $14^{\circ} 33' 15''$  N y longitud  $90^{\circ} 34' 37''$  O. Está microcuenca es la segunda en tamaño de toda la cuenca del lago. El 45% del área de la microcuenca está cubierta con árboles y bosque. La longitud del cauce principal es de 15140 metros. Tiene un caudal promedio diario de 0,43  $m^3/s$ , con una contribución de agua a la cuenca del 8,47 %, ubicado a 1400 metros sobre el nivel del mar (figura 7)



**Figura 7.** Foto del Río San Lucas

### 2.2.8. Río Pinula (punto de muestreo 8)

Río que nace en el municipio de Santa Catarina Pinula (figura 8). Sus aguas corren por los municipios de Guatemala, Villa Canales y San Miguel Petapa. Se forma en la aldea Don Justo, y corre de sureste a noreste. Al sur de la capital le afluye el Riachuelo Panaseque y pasa al este de la Aldea La Libertad con rumbo de norte a sur.

Al este de la Aldea Guajitos recibe al Río Guadrón. Tiene una longitud de 21560,0 metros y está situado a una latitud  $14^{\circ} 29' 57''$  N y longitud  $90^{\circ} 32' 45''$  O. El área total de la microcuenca es de 4284,93 ha. El caudal promedio es de  $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esta microcuenca es la cuarta en tamaño dentro de la cuenca y posee el tercer río más largo. Está ubicado a 1300 msnm. :



**Figura 8.** Foto del Río Pinula, en la colonia Villa Hermosa San Miguel Petapa

### **2.2.9. Sedimentador en el Río Molino (punto de muestreo 9)**

La microcuenca del Río Molino es la tercera en tamaño dentro de la subcuenca (figura 9). Las áreas urbanas y de suelos expuestos están localizadas en la parte media y tierras bajas de la microcuenca. El río está rodeado por área agrícola, arbustos y árboles. Tiene un área de 4455,28 hectáreas con una longitud del cauce principal de 23322 metros y está ubicado a 1600 msnm.

Es importante recordar que esta microcuenca contribuye con un caudal a la cuenca del lago con un 6,30 %.



**Figura 9.** Foto del Sedimentador El Molino



### **2.2.10. El Zacatal (punto de muestreo 10)**

El Río Zacatal (figura 10) tiene 3895 metros de longitud, siendo el segundo río más pequeño de la subcuenca y está a 1400 msnm. Es la microcuenca más urbanizada de toda la cuenca del Río Villalobos. Dentro de la cuenca no existen áreas definidas de árboles y bosques.



***Figura 10. Foto del Río el Zacatal***

### **2.2.11. El zanjón La Palín (punto de muestreo 11)**

Es un zanjón perteneciente a los municipios de Guatemala y Villa Nueva (figura 11). Se origina al Sur de la Colonia Monte María y al este de la colonia Castañas.

Su corrimiento es de norte a sur. Descarga en el Río Villalobos. Posee una longitud de 2541 metros y se encuentra a 1600 msnm. Está ubicado a una latitud  $14^{\circ} 43' 12''$  N y longitud  $90^{\circ} 34' 36''$  W. Representa menos del 0,55% del área total de la cuenca.



**Figura 11.** Foto del Zanjón La Palín

### **2.2.12. El Frutal (punto de muestreo 12)**

Esta zona es una quebrada situada en el municipio de Villa Nueva (figura 12). Se forma de la confluencia de dos corrientes al oeste de Ciudad Real y corre de norte a sur. El Frutal vierte sus aguas en el Río Villalobos. Está ubicado en una latitud  $14^{\circ} 41' 40''$  N y longitud  $90^{\circ} 33' 40''$  O. Posee una longitud de 8371 metros, su caudal promedio diario es de  $0,98 \text{ m}^3/\text{s}$  con un área de la cuenca de 3,74% y está ubicado a 1300 msnm.

Esta microcuenca es la novena en tamaño dentro de la subcuenca. Se encuentra ubicado su recorrido en zonas altamente urbanizadas y contiene el 80% de la industria de la ciudad dentro de sus límites. El área total de la microcuenca es de 1132,39 hectáreas.



**Figura 12.** Foto del Río El Frutal



### **2.2.13. Río las Minas (punto de muestreo 13)**

Esta microcuenca tiene el quinto lugar de tamaño de toda la subcuenca del lago (figura 13). Está cubierta por vegetación natural, cubiertas de bosque en zonas altas, con pendientes pronunciadas. Su nacimiento es la Finca San Agustín Las Minas, en el Municipio de Villa Canales. Su longitud del cauce principal es de 11759,0 metros. El área total de la microcuenca es de 3540,45 ha. Su caudal promedio diario es de 0,01 m<sup>3</sup>/s. La pendiente del río es de 0,05%. Se encuentra ubicado a 1300 msnm.



**Figura 13.** Foto del Río Las Minas

#### **2.2.14. Río Tuluja (punto de muestreo 14)**

El Río Tuluja (figura 14) se encuentra ubicado en el municipio de Villa Canales, a 1300 msnm. Conecta directamente con el Río Villalobos. Está ubicado en las siguientes coordenadas, de latitud 14° 29'19" Norte, y longitud 90°32'08" Oeste.

Todo el caudal de este río es utilizado para el procesamiento de la limpieza de la caña de azúcar en un ingenio azucarero del municipio de Villa Canales.



**Figura 14.** Foto del Río Tuluja.



### **2.3. Análisis de Calidad del agua**

Los análisis de laboratorio para indicar la calidad del agua, pueden clasificarse de acuerdo al enfoque o el uso que se le va a dar al agua. Entre los más importantes se encuentran los siguientes: Calidad del agua para estudios ambientales, entre los que se encuentran los limnológicos, oceanográficos, de impacto ambiental etc. calidad del agua potable, calidad del agua en estanques para cultivos de especies acuícolas, calidad del agua para cultivos agrícolas, entre otros.

La presente investigación se enfocará en parámetros de calidad del agua desde el punto de vista ambiental. Para ello se dividirán los parámetros en fisicoquímicos in situ, fisicoquímicos en el laboratorio, análisis de metales pesados, otros contaminantes y análisis bacteriológicos.

#### **2.3.1. Parámetros fisicoquímicos determinados in situ**

Se les llama parámetros fisicoquímicos in situ, a los que se determinan en el punto de muestreo, entre los que se encuentran los siguientes: Potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, temperatura y sólidos disueltos totales.

El Potencial de Hidrógeno (pH), es la medida de la concentración del hidrógeno ( $H^+$ ), presentado en números enteros, calculado a partir del negativo del logaritmo de la concentración molar del hidrógeno ( $pH = -\log [H^+]$ ), indica la capacidad ácida de una sustancia. El rango va de 0 a 14, interpretándose como ácido si el resultado se encuentra entre 0 y 6, neutro si el resultado se encuentra en 7 y básico si el valor es de 8 a 14. El pH en aguas naturales depende del dióxido de carbono ( $CO_2$ ), también depende de la descomposición de los terrenos que atraviesa la escorrentía. El valor de pH alcalino indica suelos calizos y el pH ácido indica suelos silíceos (Custodio, 2001).

El oxígeno disuelto ( $O_2$ ) es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El oxígeno llega al agua

por difusión de la atmósfera y por la fotosíntesis. La determinación del oxígeno puede ser afectada por la temperatura, la salinidad y la altura sobre el nivel del mar en el que se encuentre el cuerpo de agua (Wetzel, 2000). El resultado se reporta en miligramos por litro (mg/l), los cuales son transformados en porcentaje de saturación utilizando la corrección del oxígeno por la presión atmosférica dependiendo de la altura sobre el nivel del mar y la temperatura (Margalef, 1983).

La temperatura, está determinada por la cantidad de energía calórica (ondas infrarrojo) que son absorbidas por un cuerpo de agua y es la que juega un papel fundamental en todos los procesos biológicos, la presentación de los resultados de la medida de la temperatura se presenta en grados centígrados (°C) (Wetzel, 2000).

### **2.1.2. Parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio**

Entre los parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio se encuentran los que a continuación se describen:

**Sólidos totales:** Los sólidos incluyen los materiales de todos los tamaños que hay en el agua. La materia extraña al agua se puede clasificar por su tamaño en moléculas y partículas en suspensión. Se aplica el término de sólidos totales al material que queda en el recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y de su secado subsecuente en un horno a una temperatura definida (103 –105 °C). Los sólidos totales incluyen los sólidos totales disueltos, es decir aquella proporción de los sólidos totales que pasan a través de un filtro y son secados en un horno a una temperatura definida (180°C ± 2°C), así como los sólidos totales suspendidos, esto es, aquella porción de sólidos que se retienen por un filtro (APHA, 1995). Los principales factores que se involucran en estos aspectos son la naturaleza química y física del material en suspensión, el tamaño o diámetro del poro del

filtro, el área y espesor de la capa filtrante y la cantidad y estado físico de los materiales que se depositan sobre tal capa.

Sólidos sedimentables, representan los compuestos sólidos, que por su peso pueden sedimentarse, cuando el agua de la muestra se deja en reposo, los cuales provienen de las aguas de superficies y salinas, así como de los residuos domésticos e industriales (APHA,1995)

La dureza es un reflejo de la naturaleza geológica de la cuenca que define un cuerpo de agua, ya que el principal contenido de metales alcalino térreos provienen por la disolución de minerales en las riberas de los tributarios, los ambientes de las aguas subterráneas o escorrentías de suelos alcalinos. Regiones con estructuras formadas por basaltos, arena o granito generan aguas suaves, mientras que aquellas en las que predominan las calcitas y dolomitas generan aguas extremadamente duras (Custodio, 2001).

La intervención humana en las descargas que aumentan la dureza del agua es bastante evidente en la industria turística y de la construcción a las orillas de los cuerpos de agua, por las que se pueden alcanzar niveles sumamente altos de calcio y de alcalinidad.

La turbidez, es el resultado de sólidos suspendidos en el agua que reducen la transmisión de la luz. Se debe entender claramente que la turbidez es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que hace que los rayos luminosos se dispersen y absorban en lugar de que se transmitan en línea recta a través de ella. La turbidez se puede comprender como la claridad relativa del agua. Los sólidos suspendidos son variados, entre ellos están las arcillas, los limos, materia orgánica finamente dividida, los sedimentos, el plancton, los desechos industriales y de drenaje. Las fuentes de turbidez pueden ser el resultado de la erosión, descargas de desechos, mezcla de los sedimentos del fondo o la presencia de plancton excesivo que resulta por la abundancia de nutrientes. La turbidez puede afectar el color del agua, desde

casi blanco hasta rojizo café, al igual que verde claro por el florecimiento de las algas. (APHA, 1995)

Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (OMS,2004).

### **2.3.3. Nutrientes**

Se conocen como nutrientes a aquellos compuestos químicos que son la principal fuente de alimento en el primer nivel de la cadena trófica acuática, en donde los organismos formadores del fitoplancton toman estos nutrientes, luego los pueden utilizar y transformar, gracias al metabolismo, en componentes estructurales como proteínas, carbohidratos y otras biomoléculas. Entre estos nutrientes se encuentran principalmente el Nitrógeno y el Fósforo.

#### **2.3.3.1. El Fósforo (P)**

El fósforo (P), lo podemos encontrar en el agua como fósforo total y como orto fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).

De interés en Limnología es el orto fosfato monómero disponible y el fósforo total filtrable, pues son los componentes que afectan la calidad del agua e intervienen en los procesos bioquímicos. El resto de formas particuladas de fósforo se evalúan por su presencia en los sedimentos (APHA,1995).

Las causas más frecuentes de introducción intervenida de fósforo lo constituyen las descargas fecales (hasta 2 g/habitante/día), los detergentes con aditivos fosfatados (20 a 50 % en peso  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) y los fertilizantes agrícolas (mínimo por escorrentía 10 % en peso). La determinación del Fósforo total permite conocer el potencial energético bioquímico del ecosistema para su mantenimiento equilibrado o para sugerir el posible impacto a corto plazo en condiciones de eutroficación, pues la diferencia entre éste y el orto fosfato

estima la cantidad del fósforo almacenada en el agua como reserva (fósforo orgánico y polimerizado) el cual es relativamente independiente del fósforo sedimentario.

Dada la importancia del fósforo en el agua, descrita en la determinación de orto fosfato y en base a que el fósforo total es un indicativo de la reserva del combustible eutrófico, su medición conjunta con éste es una proyección en el tiempo de las condiciones futuras próximas del cuerpo de agua, sea para predecir un aumento en la eutroficación o el inicio de un proceso de depuración (Margalef,1983).

Vollenwider (1968) tomado de Roldán (1992), ha propuesto una clasificación con base en la concentración de fósforo total en el agua. Esta clasificación incluye los lagos ultraoligotróficos con menos de 5 mg/l, hasta politróficos con valores mayores de 100 mg/l (tabla 2).

**Tabla 2.** Concentración de fósforo total con relación al estado trófico de los lagos, según Vollenweider (1968) tomado de Roldán(1992).

Estado trófico	Fósforo total ( $\mu\text{g/l}$ )
Ultraoligotrófico	< 5
Oligomesotrófico	5 - 10
Mesoeutrófico	10 – 30
Eupolitrófico	30 – 100
Politrófico	>de 100

#### 7.4.2.5. Nitrógeno (N)

El nitrógeno puede ser tomado por las algas y plantas en tres formas: como nitratos ( $\text{NO}_3$ ), como ion amonio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) y como nitrógeno molecular ( $\text{N}_2\text{-N}$ ). las dos primeras corresponden a la forma como la toman la mayoría de las plantas y algas; la tercera ( $\text{N}_2\text{-N}$ ) es propia de los procariotas (bacterias y algas cianofíceas) (Roldán,1992).

Una vez que los procariotes han sintetizado el amoníaco a partir del nitrógeno atmosférico, el  $\text{NH}_3$  puede convertirse en nitritos o nitratos. Los nitratos y el amoníaco pueden ser tomados por otras plantas, pero después de la asimilación las enzimas reducen el nitrato a  $\text{NH}_3$ , el cual puede ser luego aminado y formar aminoácidos que son la base para la formación de proteínas (Roldán, 1992).

En programas de control de contaminación de ríos, es necesario conocer los valores de las formas de nitrógeno en forma de nitratos y de nitrógeno total. El nitrógeno en forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), por una parte es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de algas y por otra parte en forma de nitrógeno orgánico, causa una demanda de oxígeno, al ser oxidado por las bacterias nitrificantes, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto. En general, en aguas residuales, el contenido de nitrógeno total es de 20 a 70 mg/l mientras que en ríos y aguas sin contaminantes fuertes es de 0.1 a 3 mg/l (Cubillos, 2006).

El nitrógeno total es la suma de todos los aportes nitrogenados proteicos y no proteicos que pueden ser susceptibles de convertirse en una forma común capaz de ser medida.

Vollenweider (1968) tomado de Roldán (1992), presenta una clasificación de los lagos europeos de acuerdo con el contenido de amoníaco, nitratos y nitritos (tabla 3)

**Tabla 3.** Clasificación de los lagos europeos de acuerdo al contenido de nitrógeno en sus tres formas (Vollenweider, 1965) (tomado de Roldán, 1992)

Tipo de lago	Amoníaco ( $\text{NH}_3$ )	Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )
Oligotrófico	0.0 – 0.3 mg/l	0.0 – 1.0 mg/l	0.0 – 0.5 mg/l
Mesotrófico	0.3 – 2.0 mg/l	1.0 – 5.0 mg/l	0.5 – 5.0 mg/l
Eutrófico	2.0 – 15.0 mg/l	5.0 – 50.0 mg/l	5.0 – 15.0 mg/l

La OMS ha establecido un límite máximo permisible de nitrógeno total en agua potable de 1,000 µg/l, en Guatemala el límite máximo permisible de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, para el Nitrógeno total es de 1,400 mg/l .

#### **2.3.4. Grasas y Aceites:**

Las grasas y aceites se definen como todos aquellos compuestos que son insolubles en el agua, los cuales pueden estar formados por restos alimenticios u de origen mineral, los cuales forman una película que afecta la vida biológica (Elsevier, 2001).

#### **2.3.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) como el análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es un indicador de la presencia de materia orgánica, puede ser definida como la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica a través de un agente químico. En la DBO<sub>5</sub> la oxidación tiene como auxilio las bacterias, la DQO es una fenómeno provocado por la acción de una sustancia química (Custodio, 2001).

Generalmente los valores de DQO son mayores que la DBO<sub>5</sub> en pruebas de laboratorio, a DQO que es realizada en un plazo mucho menor que a DBO<sub>5</sub> y determinada en primer lugar y los resultados sirven de orientación para conocer cómo va a estar el resultado de la DBO<sub>5</sub> (para conocer si es necesario realizar diluciones).

La DQO en algunos casos puede sustituir a la DBO<sub>5</sub>, la determinación de materia orgánica, debido a la presencia de sustancias que interfieren la medida de DBO<sub>5</sub>.

El aumento de la concentración de DQO en un cuerpo de agua se debe principalmente a procesos de origen industrial.

### **2.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica, a través de la acción de bacterias, (Custodio & Llamas, 1996; Derisio, 1992) a 20 °C durante un período de incubación de 5 días. La DBO<sub>5</sub> es una prueba biológica y química. De esta manera, la DBO<sub>5</sub> se utiliza para medir el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica, dimensionar plantas de tratamiento de aguas residuales, medir la eficiencia de procesos de tratamiento biológico y el grado de polución de los cuerpos de agua. Según Custodio (1984) un cuerpo de agua con un valor de DBO<sub>5</sub> que sobrepase los 6 mg/l lo hace sospechosa de contaminación.

### **2.3.3. Análisis Bacteriológicos:**

Los organismos del grupo de los coliformes, se han presentado como los mejores indicadores de posible presencia de seres patogénicos (causados por la presencia del hombre) (Derisio, 2002).

Los coliformes totales se definen como las bacterias gram negativas que fermentan la lactosa a una temperatura de 35 a 37 °C, con producción de ácido, gas y aldehído dentro de 24 a 48 horas.

Las bacterias coliformes fecales son un sub grupo de las bacterias coliformes totales y tienen las mismas propiedades, excepto que toleran y crecen a una mayor temperatura de 44 a 44.5 °C y producen indol. Las bacterias coliformes fecales se encuentra en el excremento humano y de otros animales de sangre caliente, entre éstas bacterias se encuentran los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebssiella*, *Yersinia* y *Serratia*. Estas bacterias por si mismas no son patógenas, los organismos patógenos incluyen bacterias, virus y parásitos que causan enfermedades (OMS, 2004).

Las bacterias coliformes fecales naturalmente se encuentra en el aparato digestivo humano y ayudan a la digestión de los alimentos. En personas infectadas, las bacterias coliformes fecales están presentes junto con otros organismos patógenos.



*Escherichia coli* es una bacteria fermentadora de la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44 o 45 °C con producción de gas y que también producen indol a partir del triptófano a 37 °C (CAPRE 1993). Es la bacteria más representativa en el grupo de los Coliformes termotolerantes, debido a que su origen es específicamente fecal, están siempre presente en grandes cantidades en la heces de humanos, de los animales y de los pájaros, rara vez se encuentran en el agua o el suelo que no hayan sufrido algún tipo de contaminación fecal (OMS, 2004).

La presencia de Coliformes Termotolerantes y *Escherichia coli* es considerada como un indicador específico de contaminación fecal y de la posible presencia de patógenos entéricos.

La prueba estándar para la determinación de coliformes totales y fecales es por medio de la técnica de fermentación de tubos múltiples, llamada Número más probable (NMP) éste número está basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra. Para este análisis se utilizó el medio fluorocult caldo LMX, el cual no necesita tubos de durham, el resultado se obtiene en 24 horas y al mismo tiempo en un mismo tubo se identifica, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* (Horam,2003).

#### **2.3.4. Análisis de Metales pesados:**

Metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importante son los siguientes: arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y cinc (Zn) (Duffus,2002).

Metales tóxicos son aquellos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas. Los términos metales pesados y

metales tóxicos se usan como sinónimos pero sólo algunos de ellos pertenecen a ambos grupos (Fergusson,2000).

Algunos metales son indispensables en bajas concentraciones, ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, cinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, su exceso intoxicaciones (Harte, 2001).

Los metales pesados que se estudiarán en la presente investigación son: cadmio (Cd), cromo (Cr) y el plomo (Pb).

#### **2.3.4.1. El cadmio (Cd)**

Los minerales que contienen cadmio se encuentran en partes específicas del mundo, si bien se hallan trazas de este metal uniformemente distribuidas en la corteza terrestre. Prácticamente todos los minerales de zinc contienen pequeñas cantidades de cadmio (OPS, 2003).

Se produce como un subproducto de la extracción del zinc. El cadmio ha comenzado a contaminar el ambiente y se ha encontrado en el aire, los alimentos, el suelo, las plantas y el agua. Se utiliza principalmente en la fabricación de aleaciones y soldaduras, en revestimientos metálicos, como pigmentos, como estabilizadores en los materiales plásticos y en baterías (OPS, 2003).

La naturaleza de la fuente de donde proviene y la acidez del agua, influye en la solubilidad del cadmio en el agua. Es probable que las aguas superficiales que contienen más de unos pocos microgramos de cadmio por litro se hayan contaminado por descargas de desechos industriales o por lixiviación de áreas de relleno, o de suelos en los que se han agregado lodos cloacales. Las aguas no contaminadas por lo general contienen menos de 1 µg/litro (OPS, 2003).

#### **2.3.4.2. Cromo (VI)**

La mayoría de las rocas y suelos contienen pequeñas cantidades de cromo. El mineral más común es el cromito, en donde el metal existe en forma

trivalente CROMO (III). El cromo que se encuentra en estado natural se presenta en forma muy insoluble; sin embargo, la acción del clima, la oxidación y la acción bacteriana pueden convertirlo en una forma ligeramente más soluble. La mayoría de las formas más solubles en el suelo especialmente cuando se trata de cualquier cromo hexavalente (VI), se deben principalmente al resultado de la contaminación debido a las emisiones industriales. Un cierto grado de contaminación se produce por el uso de lodos cloacales que se agregan a la tierra (OPS, 2003).

El cromo se utiliza principalmente en aleaciones, en galvanizado, en agentes oxidantes, como inhibidor de la corrosión, en la fabricación de compuestos de cromo, como son los pigmentos, y en las industrias textiles, de cerámica, de vidrios y fotográfica (OPS,2003).

Debido a que el cromo es, en general, de baja solubilidad los niveles que se encuentran en el agua por lo común son bajos (9.7 µg/litro); sin embargo, existen ejemplos de contaminación del agua, en algunos casos muy serios, cuando efluentes que contienen compuestos de cromo se han evacuado en los ríos; el cromo puede estar en forma trivalente o hexavalente, ya sea como sal soluble o como partículas insolubles y muchas veces como complejos químicos. La valencia de la forma química en las aguas naturales se ve influenciada por la acidez del agua. El cromo trivalente se convierte en un hidróxido insoluble a un pH neutro. Los niveles de cromo total en el agua natural suelen ser de 10 µg/litro o menos; rara vez los niveles llegan a exceder los 25 µg/litro, excepto en situaciones en que la contaminación es alta. Existe la tendencia a que el cromo que se presenta normalmente a niveles más altos esté relacionado con aguas de mayor dureza (OPS, 2003).

El agua potable normalmente contiene concentraciones muy bajas de cromo (5 µg/litro o menos). Es muy raro que se encuentren en el agua de grifo niveles de cromo que lleguen a los 20 µg/litro. El nivel en el agua de grifo puede ser función del período en que el agua permaneció en contacto con

cualquiera de las piezas que forman parte de la “fontanería” del sistema y como resultado podría haber variaciones en los niveles de cromo cuando se saca agua, a diferentes horas del día, del mismo grifo (OPS, 2003).

El cromo hexavalente en concentraciones de 10 mg/kg de peso corporal producirá casos de necrosis hepática, nefritis y muerte en el hombre, las dosis más bajas causarán irritación de la mucosa gastrointestinal (OPS, 2003).

El cromo hexavalente en dosis altas ha sido señalado como causa de cáncer del tracto digestivo en el hombre, y hay firme evidencia de que existe un mayor riesgo de cáncer pulmonar entre los trabajadores que se ven expuestos a niveles altos de cromo (OPS, 2003).

#### **2.3.4.3. El plomo (Pb)**

El plomo es un componente natural de la corteza terrestre y se encuentra en una concentración promedio de alrededor de 16 mg/kg. Está presente en diversos minerales, siendo el principal de ellos la galena (sulfuro de plomo); la mayoría de los países tienen depósitos de plomo de una clase o de otra. El plomo se ha usado ampliamente durante muchos siglos, y en múltiples lugares se ha producido algún tipo de contaminación del ambiente como resultado de su uso en los trabajos de minería y de fundición o del empleo de productos elaborados con plomo. Por lo consiguiente, está presente en el aire, los alimentos, el agua, el suelo, el polvo y la nieve (OPS, 2003).

El plomo se utiliza mucho para una gran diversidad de propósitos, incluyendo la fabricación de acumuladores ácidos, los compuestos de plomo alquílico para gasolina, soldadura, pigmentos, municiones, calafateo y revestimiento de cables. En la actualidad, se está aconsejando y dejando de emplear plomo como materiales de techado y de tuberías, incluyendo las que se utilizan para el agua potable (OPS, 2003).

Se ha calculado que el contenido de plomo natural en el agua de ríos y lagos de todo el mundo es de 1 – 10 µg/litro. Si bien se han registrado valores

más altos en los casos en que se ha producido una contaminación, especialmente a partir de fuentes industriales, dichas situaciones son relativamente raras, puesto que existe un número de mecanismos naturales que controlan los niveles. Se pueden producir altos niveles de plomo cuando el agua es agresiva, blanda o tiene un pH bajo. Estas condiciones tienden a producir los niveles más altos de este elemento (OPS, 2003).

#### **2.3.4.4. El cobre (Cu):**

El cobre y sus compuestos están omnipresentes en el ambiente, y por eso se encuentran, con frecuencia, en las aguas superficiales. Las formas que toma el cobre en el agua dependerán del pH y de la concentración de carbonato presente, y de otros aniones en solución.

El contenido de cobre en los suelos depende de diferentes factores, es decir, la ubicación geográfica, la proximidad a zonas industriales y el uso de fertilizantes. Se han encontrado concentraciones de cobre en los fertilizantes de base inorgánica que fluctúan entre 0.01 y 0.05 mg/g. La cantidad de cobre presente en los alimentos variará según sea el contenido de cobre en el suelo de donde provienen. Alimentos como las legumbres, la harina y los derivados de la leche y la carne normalmente tienen un contenido menor de 0.01 mg/g. Los niveles de cobre en el agua potable normalmente varían entre 0.01 y 0.5 mg/l. (OPS, 2003).

La presencia del cobre en el sistema de abastecimiento de agua, si bien no constituye un peligro para la salud, puede interferir con los usos domésticos que se le dé al agua.

El cobre en los sistemas públicos de abastecimiento de agua, acentúa la corrosión de los utensilios y conexiones de aluminio y zinc. El “manchado” de la ropa y de los elementos de la fontanería ocurre cuando las concentraciones de cobre en el agua exceden de 1.0 mg/l por eso este es el valor que se recomienda como guía (OPS, 2003).

## **2.3.5.- Otros compuestos químicos**

### **2.3.5.1. El silicio (Si)**

El silicio (Si) es uno de los elementos químicos más abundantes de la corteza terrestre (25.5 %). Las aguas fuertemente básicas pueden tener cantidades importantes de silicio iónico, pero son muy raras en la naturaleza. La mayoría del silicio se encuentra como  $\text{SiO}_4\text{H}_4$ , en forma disuelta, coloidal y solo una pequeña parte de esta ionizada ( $\text{SiO}_4\text{H}_3^-$ ), a pH propio de las aguas naturales. El silicio iónico contribuye en alguna medida a la alcalinidad del agua, aunque el  $\text{CO}_2$  juega un papel importante al evitar que el pH se incremente, limitando así la solubilidad del silicio. La mayoría de las aguas naturales presentan concentraciones entre 1 y 140 ppm en  $\text{SiO}_2$  pudiendo llegar hasta 100 ppm en especial las aguas bicarbonatadas sódicas (Custodio, 2001).

### **2.3.5.2. Cianuro (CN)**

El cianuro se encuentra dondequiera que haya vida e industria; existen tanto las formas inorgánicas como orgánicas; de estas últimas normalmente se clasifican como nitrilos. Los cianuros forman parte de los sistemas vitales, sobre todo como intermediarios metabólicos. Entre las formas más comunes del cianuro se encuentran el cianuro de hidrógeno (HCN), las sales de cianuro que se disuelven fácilmente en el agua, y los complejos de metalocianuro. El ion de cianuro puede combinarse con los iones de metales pesados para formar cuerpos complejos, algunos de los cuales son muy estables. Las sales de cianuro se hidrolizan y forman ácido hidrocianico (OPS, 2003).

Los cianuros se emplean en múltiples métodos industriales, por ejemplo, en la producción de acrilonitrilo, de adiponitrilo y de metilmetacrilato. También se usan para la extracción del oro y la plata, la producción de acero, la galvanoplastia y en la elaboración de ciertos intermediarios en la síntesis química. Durante algunos de estos usos se puede producir la contaminación

del aire y del agua. El empleo ocasional del cianuro en la exterminación de plagas puede contaminar el agua (OPS, 2003).

#### **2.4. Indicadores fisicoquímicos de la contaminación del agua**

La calidad del agua está relacionada al uso que se destina y a la concentración de sustancias extrañas que contenga. La calidad del agua queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene o el conjunto de todos ellos (Custodio, 2001). Una manera práctica de evaluar la calidad del agua es utilizar esas propiedades para inferir sobre la condición de un determinado cuerpo de agua.

Los indicadores de calidad del agua pueden ser medidas, números, hechos, opiniones o percepciones que señalen condiciones o situaciones específicas del grado de alteración de los ecosistemas acuáticos. Los indicadores más utilizados para evaluar la calidad del agua son los: físicos, químicos y biológicos (Custodio, 2001).

Tomando en cuenta que para aguas naturales casi no hay normas de comparación, para la discusión de resultados se utilizará las normas de la Organización Mundial para la Salud (OMS, 2004), para aguas potables, los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, según el reglamento de las descargas y re uso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, de la república de Guatemala (Artículo 20. Límites Máximos Permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores); también se compararán los resultados con la Norma Regional de Calidad del agua para consumo humano, establecidas por el Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana-CAPRE- (CAPRE, 1993).

### 2.4.1. Indicadores físicos y químicos

Los indicadores físicos se utilizan para evaluar las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Los principales indicadores físicos de la calidad del agua son: la turbidez, conductividad, sólidos en suspensión, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, sólidos totales y la temperatura.

Los indicadores químicos se basan exclusivamente en analizar las condiciones químicas, los cuales son de gran precisión y testigos de las condiciones del agua. Los parámetros químicos indicadores de calidad del agua más importantes son: nitrógeno total, nitratos, nitritos, amonio, fósforo total, los cloruros el pH y el oxígeno disuelto.

**Tabla 4.** *Parámetros físicos y químicos que afectan la calidad del agua*

Parámetro	OMS, para agua potable* <sub>1</sub>		Aguas Residuales Guatemala (236-2006)	Normas CAPRE + Para consumo humano	
	Concentración máxima aceptable	Concentración máxima permitida		Valor recomendado	Valor máximo admisible
Sólidos totales	500 mg/l	1500 mg/l	NR* <sub>2</sub>	NR	NR
Color (ppm escala de platino cobalto)	5	50	1500	1	15
Turbidez en (SiO <sub>2</sub> )	5 mg/l	25 mg/l	NR	1(UNT)	5 (UNT)
Gusto	No detectable	No detectable	NR	No detectable	No detectable
Olor	No detectable	No detectable	NR	No detectable	No detectable
Hierro (Fe)	0.3 mg/l	0.5 mg/l	NR	NR	NR
Manganeso (Mn)	0.1 mg/l	0.5 mg/l	NR	0.1mg/l	0.5 mg/l
cobre (Cu)	1 mg/l	5 mg/l	4 mg/l	1 mg/l	2 mg/l
cinc (Zn)	3 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	NR	3 mg/l
Calcio (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	75 mg/l	250 mg/l	NR	100 mg/l	NR
Magnesio (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	50 mg/l	150 mg/l	NR	30 mg/l	50 mg/l



Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	200 mg/l	400 mg/l	NR	25 mg/l	250 mg/l
Cloruros (Cl)	200 mg/l	600 mg/l	NR	25 mg/l	250 mg/l
pH	7 – 8.5	6.5 – 9.5	6-9	6.5 a 8.5	NR
Sulfato de Magnesio sodio	250 mg/l	1000 mg/l	NR	NR	NR
Sustancias fenólicas (como Fenol)	0.001 mg/l	0.002 mg/l	NR	NR	NR
Contaminantes orgánicos (carbono extractado con cloroformo)	0.2 mg/l	0.5 mg/l	NR	NR	NR
Ten-soactivos (detergentes) ABS (Alkilbencil-sulfonatos)	0.5 mg/l	1 mg/l	NR	NR	NR
Temperatura	NR	NR	Temperatura del cuerpo receptor en °C +/- 7	NR	NR
Materia flotante	NR	NR	Presente	NR	NR
Sólidos suspendidos	NR	NR	3500 mg/l	NR	NR
Sólidos totales disueltos	600 -1000 mg/l	NR	NR	NR	1000mg/l
Potasio	NR	NR	NR	NR	10 mg/l

\*<sub>1</sub> OMS, 2004

\*<sub>2</sub> NR = No reporta

° Presidencia de la República de Guatemala, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006. (Artículo 20. Límites Máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores)

+ Comité Coordinador Regional de Agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

**Tabla 5.** Límites permisibles de sustancias tóxicas en diferentes tipos de agua.

Sustancia	OMS* <sub>1</sub>	Aguas Residuales <sup>o</sup>	Normas CAPRE <sup>+</sup>
	Concentración máxima permisible (mg/l)		
plomo (Pb)	0.01 mg/l	4 mg/l	0.01
Arsénico (Ar)	0.05 mg/l	1 mg/l	0.01
Selenio (Se)	0.01 mg/l	NR	0.01
cromo (Cr <sup>+6</sup> )	0.05 mg/l	1 mg/l	0.05
Cianuro (CN)	0.007 mg/l	6 mg/l	0.05
cadmio (Cd)	0.01 mg/l	1 mg/l	0.05
Bario (Ba)	1.00 mg/l	NR* <sub>2</sub>	NR
Plata (Ag)	0.05 mg/l	NR	NR
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50 mg/l	NR	25-50 mg/l
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	3 mg/l	NR	0.1 a 0.3 mg/l
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	1.5 mg/l	NR	0.05 – 0.5 mg/l
Hierro (Fe)	NR	NR	0.3 mg/l
Flouroro (F)	NR	NR	0.7 – 1.5 mg/l¶
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.1 mg/l	NR	0.05 mg/l

\*<sub>1</sub> OMS, 2004

\*<sub>2</sub> NR = No reporta

<sup>o</sup> Presidencia de la República de Guatemala, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006.

+ Comité Coordinador Regional de Agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

¶ El valor del fluor puede variar con la temperatura: 1.5. mg/l T = 8-12 °C , 0.7 mg/l T = 25 – 30°C

**Tabla 6.** Indicadores químicos de contaminación en diferentes tipos de aguas.

Indicador	Límite máximo para considerar que hay contaminación (mg/l)		
	OMS <sup>*1</sup>	Aguas Residuales <sup>°</sup>	Normas CAPRE <sup>+</sup>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	10 mg/l	NR	NR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	6 mg/l	700 mg/l	NR
Nitrógeno Total (Excluido el NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1 mg/l	1400 mg/l	NR
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0.5 mg/l	NR	NR
Carbono (Extracto al cloroformo)	0.5 mg/l	NR	NR
Grasas	1 mg/l	1500 mg/l	NR

\*<sub>1</sub> OMS, 2004

\*<sub>2</sub> NR = No reporta

<sup>°</sup> Presidencia de la República de Guatemala, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006.

+ Comité Coordinador Regional de Agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

A continuación se presenta el tabla 7 elaborado por Klein(1966) sobre la clasificación de calidad del agua de ríos.(Armando Cubillos,1996)

**Tabla 7.** Concentraciones promedio de los nutrientes, para aguas de ríos antes y después de vertimientos.

Condición del río	DBO <sub>5</sub> 18.3 °C ppm	N NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ppm	N NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm	N NO <sub>2</sub> ppm	Sólidos suspendidos ppm	Cloruros Cl <sup>-</sup> ppm	Oxígeno disuelto Ppm
Muy limpio	1	0.04	0.1	0.5	4	10	11
Limpio	2	0.24	0.25	2	15	25	9.3
Regular	3	0.67	0.35	2.2	15	30	8.6
Dudosa	5	2.5	0.6	5	21	50	6.6
Mala	10	6.7	1.0	4	35	50	Bajo*
Muy mala	>20	-	-	-	-	-	Muy bajo

- Una concentración baja puede ser de 3.0 mg/l
- Cuadro tomado de Klein (1966), en Armando Cubillos, Calidad del agua y control de la pulción. Mérida, Venezuela: Agosto, 2006. Centro Interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial –C.D.I.A.T.

#### 2.4. Indicadores Biológicos de la contaminación del agua

Los organismos acuáticos que se encuentran en cursos de agua pertenecen a numerosas especies y son característicos de cada curso de agua y de la calidad del agua en cada segmento del cuerpo de agua. De esta manera, las comunidades acuáticas constituyen una característica de la calidad de aguas naturales y poluídas (Cubillos, 2006).

En general se hacen estudios limnológicos de las aguas para: a) identificar especies, b) contar el número de individuos de cada especie especialmente en el fondo o lecho del cuerpo de agua, c) identificar los problemas y d) buscar soluciones a los problemas existentes de calidad del agua.

Los productores primarios o las algas y las plantas acuáticas son quienes reflejan más nítidamente los efectos de los cambios químicos en el agua. Los herbívoros y carnívoros son afectados por los cambios en las condiciones físicas y el oxígeno disuelto en los cuerpos de agua.

En general los indicadores biológicos de interés en la calidad del agua naturales incluyen: bacterias, hongos, algas, briofitas o musgos, angiospermas

o plantas sumergidas y flotantes, protozoarios, porífera (esponjas), plathelminfos (planarias, bilharzia, tenia), Nematodos, Rotíferos, Anélidos, moluscos, artrópodos (crustáceos, insectos y arácnidos), peces, etc. Esta lista no es exhaustiva y solo da una idea de la magnitud del trabajo necesario para conocer la biota de un cuerpo de agua y luego establecer cambios en el tiempo o buscar las causas de situaciones anómalas específicas (Cubillos,2006).

Características bacteriológicas del agua: Los criterios de calidad bacteriológica del agua se basan en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente a la salud del hombre o que, por su presencia puedan señalar la posible existencia de otros. Para evitar la enorme complicación y dificultad que supone la realización de unas determinaciones exhaustivas, se adoptan índices de calidad, fijándose para ellos los límites que se estiman adecuados. Así en las normas de la OMS. la determinación del grupo coliforme como indicador bacteriológico y el NMP ( número más probable) para valorar su intensidad, responden a esas necesidades. Siguiendo la técnica de los tubos de ensayo y en función del número de ellos y volumen de la muestra, los resultados confirmativos de los análisis suponen un valor estadístico del NMP obtenidos en tablas de comparación y preparadas para el efecto (Custodio,2001).

En sustitución de la técnica de los tubos de ensayo para las determinaciones bacteriológicas, se utilizan en ocasiones la de las membranas filtrantes, con el conteo directo de los organismos desarrollados en un medio de cultivo adecuado y en una superficie determinada.

A continuación se presenta la tabla 8 el cual incluye parámetro bacteriológicos para aguas potables, según las normas CAPRE, en el cual se hacen las siguientes aclaraciones: **a)** El Número Más Probable (NMP) en 100 ml, en caso de tubos múltiples o colonias en 100 ml en caso de análisis por el método de membranas filtrantes. El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la *Eschericia coli*; las bacterias coliformes totales no

son un indicador aceptable de la calidad sanitaria de acueductos rurales, particularmente en áreas tropicales donde muchas bacterias sin significado sanitario se encuentran en la mayoría de acueductos sin tratamiento. **b)** En los análisis de control de calidad se determina la presencia de coliformes totales. En caso de detectarse una muestra positiva se procede al re muestreo y se investiga la presencia de coliforme fecal. Si el re muestreo da resultados negativos, no se toma en consideración la muestra positiva, para la valoración de calidad anual. Si el re muestreo da positivo se intensifican las actividades del programa de vigilancia sanitaria que se establezca en cada país. Las muestras adicionales, recolectadas cuando se intensifican las actividades de inspección sanitaria, no deben ser consideradas para la valoración anual de calidad. **c)** En los sistemas donde se recolectan menos de 20 muestras, al año el porcentaje de negatividad debe ser  $\geq 90\%$  (CAPRE, 1993).

**Tabla No. 8. Parámetro bacteriológicos para aguas potables (a)\***

Origen	Parámetro <sup>(b)</sup>	Valor recomendado	Valor máximo admisible	Observaciones
A) Todo tipo de agua de bebida	Coliforme fecal	Negativo	Negativo	
B) Agua que no entra en el sistema de distribución	Coliforme fecal	Negativo	Negativo	
	Coliforme total	Negativo	≤ 4	En muestras no consecutivas
C) Agua en el sistema de distribución	Coliforme total	Negativo	≤ 4	En muestras puntuales, no debe ser detectado en el 95 % de las muestras anuales <sup>(c)</sup> .
	Coliforme fecal	Negativo	Negativo	

\*CAPRE,1993

Por último de acuerdo con el reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. de la República de Guatemala, el límite máximo permisible para descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, es de < de  $1 \times 10^8$  NMP en 100 ml de Coliformes fecales.

## 2.6. Métodos Estadísticos

La Estadística es un campo de estudio relacionado con: 1) la recopilación, organización y resumen de datos (conocida como Estadística Descriptiva), 2) La obtención de inferencias acerca de un conjunto de datos cuando sólo se observa una parte de ellos (Estadística Inferencial)

### 2.6.1. Estadística descriptiva

La Estadística descriptiva, se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Los datos pueden ser resumidos numéricamente o gráficamente. Ejemplos básicos de descriptores numéricos son: la Media Aritmética, la Mediana y la Moda; Otros descriptores como la Varianza, el Coeficiente de Variación y la Desviación Estándar, son llamadas medidas de dispersión (Best, 2001).

La Media Aritmética, es la medida de tendencia central más conocida. La Media se obtiene sumando todos los valores en una población o muestra y dividiendo el valor obtenido entre el número de valores que se sumaron. Se utiliza la letra griega  $\mu$ , para representar la media de la población (Tijims, 2004).

$$\mu = \frac{\sum x_i}{N}$$

$\sum x_i$  = sumatoria de todos las variables

$N$  = número de valores

La Mediana, de un conjunto finito de valores es aquel valor que divide al conjunto en dos partes iguales tales como el número de valores iguales a la mediana o mayores que ella es igual al número de valores iguales a ella o menores que ella. Si el número de valores es impar, la mediana será el valor que está en medio, cuando todos los valores se han arreglado en orden de magnitud. Cuando el número de observaciones es par, no se tiene una sola observación en medio, sino dos. En este caso, se toma la mediana como la medida de estas dos observaciones de en medio, cuando todas las observaciones se han dispuesto en el orden de su magnitud (Best, 2001)



La Moda de un conjunto de valores es aquel valor que ocurre con más frecuencia. Si todos los valores son distintos, no hay moda; por otra parte, un conjunto de valores puede tener más de una moda (Best, 2001).

La dispersión de un conjunto de observaciones se refiere a la variedad que exhiben los valores de las observaciones. Si todos los valores son iguales, no hay dispersión; si no todos son iguales, hay dispersión en los datos. La magnitud de la dispersión puede ser pequeña, cuando los valores, aunque distintos, están próximos entre sí. Si los valores están ampliamente desparramados, la dispersión es mayor. Para evaluar la dispersión se utiliza la Varianza, y el Coeficiente de Variación.

Cuando los valores de un conjunto de observaciones están muy próximos a su media, la dispersión es menor que cuando están distribuidos sobre un amplio recorrido. Dado que esto es cierto, intuitivamente sería interesante el hecho de que se pudiera medir la dispersión con respecto a la diseminación de los valores en torno a la media. Dicha medida se realiza en lo que se conoce como variancia.

El Coeficiente de Variación. La desviación estándar es útil como una medida de variación dentro de un determinado conjunto de datos. Sin embargo, cuando se desea comparar la dispersión entre dos conjuntos de datos, el comparar las dos desviaciones estándar puede conducir a resultados ilógicos. Puede ser que las dos variables que intervienen se midan en unidades distintas. Lo que se necesita en situaciones como ésta es una medida de variación relativa, más que una variación absoluta. Dicha medida se encuentra en el Coeficiente de variación, que expresa la desviación estándar como un porcentaje de la media. La fórmula está dada por la expresión siguiente:

$$\text{C.V.} = \frac{s}{\mu} (100)$$

*s = desviación estándar*

*$\mu$  = media*

La determinación del valor mínimo y máximo se calcula por medio del ordenamiento de los resultados del valor menor al mayor.

La Desviación Estándar de una población se determina por medio de calcular la raíz cuadrada de la Varianza. La Varianza es una medida estadística que evalúa la distancia que se encuentra un valor de la media. Cuando los valores de un conjunto de observaciones están muy próximos a su media, la dispersión es menor que cuando están distribuidos sobre un amplio recorrido.

### **2.6.2. Análisis de Cluster**

El Análisis Cluster, también es conocido como Análisis de Conglomerados, Taxonomía Numérica o Reconocimiento de Patrones, es una técnica estadística multivariante cuya finalidad es dividir un conjunto de objetos en grupos (cluster en inglés) de forma que los perfiles de los objetos en un mismo grupo sean muy similares entre sí (cohesión interna del grupo) y los de los objetos de clusters diferentes sean distintos (aislamiento externo del grupo).

Para poder realizar un análisis de Cluster, son necesarios los siguientes pasos:

Primero: plantear el problema a resolver por un Análisis Cluster

Segundo: establecer medidas de semejanza y de distancia entre los objetos a clasificar en función del tipo de datos analizado

Tercero: analizar algunos de los métodos de clasificación propuestos en la literatura haciendo especial énfasis en los métodos jerárquicos

aglomerativos y en el algoritmo de las k-medias, y determinar el número de grupos.

Cuarto: interpretar los resultados obtenidos

La importancia de la realización de un análisis de Cluster es que ayuda a identificar las variables que presentan comportamientos semejantes de asociación, ya que las distancias euclidianas son menores, lo cual ayudará para poder conocer cuáles son las razones ambientales o de otra índole que permiten la asociación entre dichas variables (Figueres, 2001).

### **2.6.3. Análisis Factorial**

El análisis factorial es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de variables. Esos grupos homogéneos se forman con las variables que correlacionan mucho entre sí y procurando, inicialmente, que unos grupos sean independientes de otros.

El análisis factorial es, por tanto una técnica de reducción de la dimensionalidad de los datos. Su propósito último consiste en buscar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos.

El análisis factorial consta de cuatro fases características:

- El cálculo de una matriz capaz de expresar la variabilidad conjunta de todas las variables
- La extracción del número óptimo de factores,
- La rotación de la solución para facilitar su interpretación
- Estimación de las puntuaciones de los sujetos en las nuevas dimensiones.

Los autovalores expresan la cantidad de varianza total que está explicada por cada factor y los porcentajes de varianza explicada asociados a cada factor se obtienen dividiendo su correspondiente autovalor por la suma de los autovalores (la cual coincide con el número de variables). Por defecto se extraen tantos factores como autovalores mayores que 1 tiene la matriz analizada.

KMO y prueba de esfericidad de Bartlett. La medida de adecuación muestral KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) contrasta si las correlaciones parciales entre las variables son suficientemente pequeñas. Permite comparar la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de los coeficientes de correlación parcial. El estadístico KMO varía entre 0 y 1. Los valores pequeños indican que el análisis factorial puede no ser una buena idea, dado que las correlaciones entre los pares de variables no pueden ser explicadas por otras variables. Los menores que 0.5 indican que no debe utilizarse el análisis factorial con los datos muestrales que se están utilizando.

El gráfico de sedimentación, sirve para determinar el número óptimo de factores. Consiste simplemente en la representación gráfica de los autovalores.

Un autovalor indica la cantidad de varianza explicada por una componente principal. Tanto la tabla de porcentajes de varianza explicada como el gráfico de sedimentación, ofrecen los autovalores ordenados de mayor a menor: el primer autovalor es el mayor de los posibles, el segundo autovalor es el segundo mayor y así sucesivamente. Si un autovalor se aproxima a cero, eso significa que el factor correspondiente a ese autovalor es incapaz de explicar una cantidad relevante de la varianza total. Por tanto un factor al que corresponde un autovalor próximo a cero se considera un factor residual y carente de sentido en el análisis.

La rotación permite controlar la fase de rotación del análisis. Con esta opción podemos definir el método de rotación que deseamos utilizar para

facilitar la interpretación de la solución factorial y solicitar la representación gráfica de las saturaciones.

El método de rotación que se utilizó en la presente investigación en la rotación Varimax. Este método de rotación ortogonal que minimiza el número de variables que tienen saturaciones altas en cada factor. Simplifica la interpretación de los factores optimizando la solución por columna.

Los gráficos de factores de saturación factorial representan el espacio factorial definido por los factores contenidos en la solución factorial. Si la solución contiene un único factor, el gráfico no se genera y aparece una advertencia indicando tal circunstancia; si la solución contiene dos factores se genera un diagrama de dispersión simple; si la solución contiene tres o más factores se genera un gráfico de dispersión tridimensional en el que sólo se representan los tres primeros factores. Cuando la solución contiene más de tres factores el gráfico tridimensional representa los tres primeros factores, pero almacena también la información correspondiente a los restantes factores.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Selección e identificación de los sitios de monitoreo**

La selección de los sitios de muestreo se realizó, tomando en cuenta los lugares de mayor influencia, ya sea poblacional o por la ubicación de industrias. Otro aspecto que se tomó en cuenta fue en los lugares donde se encuentran los sedimentadores dentro del caudal del río.

#### **3.2. Universo de estudio**

El Universo de estudio, son todos los afluentes del Río Villalobos, el cual drena en el Lago de Amatitlán.

#### **3.3. Tipo de Estudio**

El presente estudio será de tipo descriptivo a lo largo del tiempo (11 años) y espacial (14 puntos de muestreo); donde el universo de estudio corresponde a la microcuenca del Río Villalobos, de 168 Km<sup>2</sup>, localizado en los municipios que conforman el departamento de Guatemala, en la República de Guatemala, Centroamérica.

#### **3.4. Procesamiento de la Información:**

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se elaboraran tablas de datos resúmenes para cada parámetro y por punto de muestreo. Se describiran los resultados obtenidos, auxiliándose de los principios de la estadística descriptiva, se utilizarán gráficas de histogramas para la comparación entre puntos de muestreo con un mismo parámetro y en el mismo punto en relación con los diferentes años muestreados, procediéndose después a la discusión e interpretación de los resultados, basándose en diferentes aspectos de calidad del agua e indicadores de calidad.

#### **3.5. Metodología para la recolección de muestras**

Las muestras se recolectaron mensualmente desde el año 1996 hasta el año 2006. La microcuenca del Río Villalobos se dividió en ríos de la parte alta, ríos de la parte medio y ríos de la parte baja de la cuenca.

Los ríos de la parte alta, es una forma de verificar que la contaminación se aumenta por el paso del río a los poblados, principalmente por la población de la ciudad Capital de la república de Guatemala, lo cual se produce en la parte media de la cuenca, al final se compara con los ríos de la parte baja de la cuenca para demostrar que esta parte acumula todos los desechos acarreados por todos los ríos que conforman la cuenca.

Se realizaron determinaciones de parámetros in situ, los cuales fueron: pH, oxígeno disuelto y temperatura, utilizándose una sonda multiparamétrica marca WTW.

### **3.6. Metodología utilizada en el laboratorio**

#### **3.6.1. Análisis fisicoquímicos:**

Las muestras para los análisis físico químicos fueron captadas, preservadas, transportadas y analizadas siguiendo los procedimientos del Laboratorio de Calidad del Agua de la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán –AMSA, los cuales obedecen a los procedimientos descritos del Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995), 19 th edition.

#### **3.6.2. Determinación de Parámetros fisicoquímicos analizados in situ**

Los parámetros fisicoquímicos que se analizan en el lugar de muestreo se les dice normalmente (in situ), entre los que se encuentran: el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y los sólidos disueltos. Estos tres parámetros se evalúan utilizando una sonda multiparamétrica.

El oxígeno disuelto es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos.

Los parámetros que se analizan utilizando esta metodología son: el pH, el oxígeno disuelto ( $O_2$ ), la temperatura en grados centígrados ( $^{\circ}C$ ) y los sólidos disueltos totales (SDT).

### **3.6.3. Determinación de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio:**

#### **3.6.3.1. Sólidos totales**

Los sólidos totales incluyen los sólidos totales disueltos, es decir aquella proporción de los sólidos totales que pasan a través de un filtro y son secados en un horno a una temperatura definida ( $180^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ ), así como los sólidos totales suspendidos, esto es, aquella porción de sólidos que se retienen por un filtro (APHA, 1995)

Sólidos sedimentables: Pueden ser determinados y expresados en función de su volumen (ml/L) o de un peso (mg/l), para ello se utiliza el cono Imhoff, soporte de los conos de Imhoff, y un cronómetro. El cono Imhoff se llena hasta la marca de un litro, con la muestra de agua bien mezclada, luego se deja sedimentar por 45 minutos, se remueve suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación, mantener en reposo 15 minutos más y luego se registra el volumen de sólidos sedimentables en mililitros por litro (APHA,1995).

#### **3.6.3.2. Dureza:**

La medición de la dureza se realiza mediante determinaciones volumétricas en las que la competencia para la formación de iones complejos es el mecanismo principal (complejometría). Casi todos los cationes tienen la característica de ser acomplejados por la sal disódica del ácido etilen diamínico tetra acético (EDTA), utilizándose como indicador el Negro de Ericromo T (NET) (APHA,1995).

#### **3.6.3.3. Turbidez**

El método más utilizado para la determinación de la Turbidez o turbiedad, es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresa los resultados en unidades de turbiedad nefelométrica, UTN (Custorio,2001).

El método nefelométrico es el método instrumental preferido para medir turbiedad, por se más sensible que el método visual del turbidímetro de



Jackson y que el método instrumental de medida de comparación de la intensidad del rayo de luz transmitido como la intensidad del rayo de luz incidente (Custodio, 1996)

La turbiedad debe analizarse de inmediato, de lo contrario se puede almacenar la muestra a 4 °C, al momento de analizar después de refrigerada la muestra debe llevarse a temperatura ambiente 24°C (APHA,1995).

#### **3.6.3.4. Fósforo total**

La metodología utilizada es la degradación con Acido Ascórbico, método 4500-P.B.E. (American Public Health Asociacion –APHA, 1995. Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 th edition. Ed. Washington: APHA.

#### **3.6.3.5.Nitrógeno total:**

El método utilizado para la determinación del Nitrógeno total es el que utiliza el paquete analítico de Nitrógeno total Merck, código 14537.

#### **3.6.3.6.Grasas y aceites:**

Las grasas y aceites se definen como todos aquellos compuestos que son insolubles en el agua, la determinación se realiza por medio del método gravimétrico, descrito en el Stándar Métods (APHA,1995)

#### **3.6.3.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La metodología del análisis del DQO, es por medio de la oxidación de la muestra de agua con solución caliente de dicromato potásico y sulfato de plata como catalizador. El cloruro es enmascarado por el sulfato de mercurio. Luego se procede a la determinación fotométrica de los iones dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ) amarillos no consumidos. El procedimiento es análogo a DIN 38409 H41 o respecto al ISO 6060.

#### **3.6.3.8. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La metodología utilizada es el método Standard Meththods for the examination of Water and Wastewater. 19 th. Edition Washington: APHA.

### **3.6.4. Análisis Bacteriológicos**

El objetivo del análisis bacteriológico es identificar bacterias indicadoras de contaminación fecal, para ello se evalúa, los coliformes totales, los coliformes fecales y *Escherichia coli*.

#### **3.6.4.1. Coliformes totales**

Los coliformes totales se definen como las bacterias gram negativas que fermentan la lactosa a una temperatura de 35 a 37 °C, con producción de ácido, gas y aldehído dentro de 24 a 48 horas.

#### **3.6.4.2. Coliformes fecales**

La prueba estándar para la determinación de coliformes totales y fecales es por medio de la técnica de fermentación de tubos múltiples, llamada Número más probable (NMP) éste número está basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra. Para este análisis se utilizó el medio fluorocult caldo LMX, el cual no necesita tubos de durham, el resultado se obtiene en 24 horas y al mismo tiempo en un mismo tubo se identifica, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* (Horam,2003).

### **3.6.5. Determinación de metales pesados en la laboratorio:**

#### **3.6.5.1. Determinación de plomo**

El plomo se determina por medio de una solución alcalina la cual reacciona con 4-(2-piridilazo) resorcina (PAR), formando un complejo rojo que se determina espectrofotométricamente a una longitud de onda de 515 nm, el intervalo de medida va de 0.10 a 5.0 mg/l de Pb, el reactivo utilizado es de la marca Spectroquant 14833 de Merck .

#### **3.6.5.2. Determinación de cromo (VI):**

La determinación del cromo se realiza por medio de una reducción del cromo (VI) a cromo (III) con oxidación simultánea de difenilcarbazida a difenilcarbazona, seguida de formación de un complejo de cromo (III)

difenilcarbazona violeta rojizo, el cual se determina a una longitud de onda de 540 nm, el intervalo de medida es de 0.025 a 2.5 ppm de  $\text{Cr}^{(+6)}$ . El reactivo utilizado es Spectroquant 14758 de Merck.

#### **3.6.5.3. Determinación de cadmio**

En solución alcalina los iones cadmio forman con un derivado de cadión (cadión = nombre usual de 1-(4-fenilazofenil)triazeno) un complejo rojo que se determina espectrofotométricamente a 525 nm el intervalo de medida es de 0.025 a 1,000 mg/l de Cd. El reactivo es de Spectroquant 14834 de Merck.

#### **3.6.5.4. Determinación de cobre**

Por la adición del reactivo Cu-1A se origina un medio de tartrato amoniacal, en el cual el cobre (Cu) se transforma en diamincuprato (II)  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NH}_3)_2]^{2+}$ . Este reacciona con cuprizona (bis[ciclohexilidenedihidrazida] del ácido oxálico), del reactivo Cu-2<sup>a</sup>, para dar un complejo de color azul real con la composición probable  $[\text{Cu}(\text{cuprizona})_2(\text{NH}_3)]^{2+}$  de los reactivos Spectroquant 14767 de Merck, por último se lee a una longitud de onda a 595 nm, el rango de lectura va de 0.1 a 9.5 mg/l.

### **3.6.6.- Otros compuestos químicos**

#### **3.6.6.1.- Silicio:**

Determinación del silicio: Los silicatos hidrosolubles (ácido silícico disuelto) reaccionan con solución sulfúrica de heptamolibdato de amonio, dando el ácido silicomolibdico amarillo. El compuesto análogo de fósforo potencialmente existente es destruido en forma selectiva por el ácido tartárico. La subsiguiente reducción parcial del molibdeno por la mezcla de sulfato de 4-metilaminofenol y bisulfito, conduce a la transformación en azul de silicomolibdeno. El reactivo que se utiliza es Spectroquant 14794 de Merck, finalmente se lee a una longitud de onda a 650 nm.

#### **3.6.6.2.- Cianuro:**

Medición del Cianuro: El cianuro forma con el cloro (reactivo CN-A) cloruro de cianógeno. Con pirimidina (reactivo CN-3A) reacciona éste

formando dialdehído glutacónico, que condensa con ácido 1,3-dimetilbarbitúrico (reactivo CN-2<sup>a</sup>) dando un colorante violeta de polimetino. Para ello se utilizan los reactivos de Spectroquant 14800 de Merck. Finalmente se lee a una longitud de onda de 485 nm.

### **3.7. Metodología de trabajo con el análisis de los datos**

La metodología para el análisis estadístico de los resultados fue la siguiente:

Primero: Elaboración de mapa.

Elaboración de un mapa de la cuenca de drenaje del Río Villalobos, para ello se procedió a comprar cuatro mapas cartográficos que contienen la cuenca del Río Villalobos. Se delimitó la cuenta, luego se pasó la misma en papel calco.

Segundo: Identificación de los puntos de muestreo.

La cuenca del Río Villalobos se monitoreo durante 11 años a partir del año 1996 al año 2006 constantemente cada mes en dieciséis puntos de muestreo. Para la presente investigación solamente se toma en cuenta para el análisis estadístico a 14 puntos de muestreo, por que los mismo fueron evaluados los 11 años, no siendo así para los otros dos puntos, los cuales fueron estudiados hasta el año 2002.

Los catorce puntos de muestreo se agruparon en orden correlativo, del uno al catorce, nombrándose los puntos con un nombre que tiene relación ya sea con el nombre del río o por alguna estructura que caracterice al mismo (Tabla 1). Se identifica a cada punto de muestreo con el número correlativo que se usará para el presente estudio.

Los catorce puntos de muestreo fueron monitoreados durante once años, mensualmente. Los parámetros que se evaluaron fueron los siguientes: pH (adimensional), oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en miligramos/litro (mg/L), Temperatura (TEM) en grados centígrados (°C), Sólidos Disueltos Totales (SDT), sólidos sedimentables (Ssed), sólidos suspendidos (Ssus), sólidos

totales (Stot), dureza (Dur) en (mg/L de carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ ), Turbiedad en Unidades de Turbiedad Nefelométricas (UTN), fósforo total (Ptot), nitrógeno total (Ntot), grasas y aceites (GRA), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo ( $\text{Cr}^{+6}$ ), cobre (Cu), cianuro ( $\text{CN}^-$ ), silicio (Si), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes totales (Col Tot), Coliformes fecales (Col. Fec) en Número Más Probable en 100 ml (NMP/100ml). En la mayoría de parámetros se realiza la determinación en miligramos por litro (mg/L), cuando no es así se menciona la dimensional correspondiente.

Tercero: Recopilación de la información.

Se recopiló la información de once años de muestreo del Río Villalobos, la cual fue proporcionada por las autoridades de AMSA.

Cuarto: Elaboración de una base de datos.

Se elaboró una base de datos, ordenándose los mismos de 1 al 154, los resultados obtenidos de los 22 parámetros efectuados durante once años en los catorce puntos de muestreo.

Quinto: Análisis estadísticos

A la base de datos elaborada se le efectuó los siguientes análisis estadísticos:

- Estadística Descriptiva
- Análisis de Varianza de una vía por puntos de muestreo
- Análisis de Varianza de una vía a los largo del tiempo
- Análisis de Cluster
- Análisis Factorial.

Para ello se utilizó el programa SPSS y Statistica

## 4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.1. Resultados de análisis estadístico descriptivo

El análisis estadístico descriptivo es una forma de resumir los resultados de una base de datos. El análisis estadístico que se le aplicó a la base de datos fueron los siguientes: La Media, Valor mínimo, Valor Máximo, Desviación Estándar (DS) y el Coeficiente de Variabilidad (C.V.).

**Tabla 9.** Estadísticas descriptivas de muestreos en el Río Villalobos durante los años 1996 a 2006

Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	D.S	C.V.
pH	154	7.84	6.21	10.48	0.672	8.5714
Oxígeno Disuelto (mg/l)	154	3.95	0.02	10.03	2.820	71.392
Temperatura °C	154	22.838	19.30	34.40	1.882	8.2407
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	154	402.974	35.00	990.00	211.146	52.397
Sólidos Sedimentables (mg/l)	154	2.705	0.00	27.00	3.207	118.56
Sólidos Suspendidos (mg/l)	154	555.799	20.00	2700.0	439.00	78.985
Sólidos totales (mg/l)	154	1,075.9	40.00	4700.00	798.684	74.231
Dureza (mg/l)	154	176.326	25.00	850.00	148.921	84.458
Turbidez (UTN)	154	414.823	0.00	1890.00	382.662	92.247
Fósforo total (mg/l)	154	14.362	0.1	45.40	12.592	0.0877
Nitrógeno total (mg/l)	154	19.280	0.23	54.00	15.095	78.294
Grasas y Aceites (mg/l)	154	191.260	0.00	890.00	200.426	104.79
plomo (mg/l)	154	1.056	<0.1	1.056	0.757	71.686
cadmio (mg/l)	154	0.289	<0.25	0.289	0.346	119.72
romo (mg/l)	154	0.709	< 0.025	2.25	0.541	76.305
cobre (mg/l)	154	0,618	< 0.1	3.17	0.525	84.951
cianuro (mg/l)	154	1.963	0.000	215.00	17.287	880.64
silicio (mg/l)	154	23.425	2.01	74.00	13.775	58.805
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	154	642.422	14.00	3670.00	579.347	90.182
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	154	346.997	4.00	1450.00	315.601	90.952
Coliformes totales	132	2,209.25 5	0.00019	28000.00	4,772.00	216.00
Coliformes fecales	132	2,187.59 8	0.00019	28000.00	4,761.44	217.66

En la tabla 9 se presenta, el análisis estadístico de los 154 parámetros investigados en los catorce puntos de muestreos, durante once años, haciendo un total de 3338 parámetros investigados. A cada parámetro se le calculó la media, de acuerdo con la dimensional utilizada para cada determinación. Posteriormente se calculó el valor mínimo y máximo, lo cual se realizó ordenando cada parámetro desde el valor menor al mayor, esta determinación da una idea general de cuánto ha sido la concentración más alta que se ha presentado de cada parámetro durante los once años. Por último se calculó la Desviación estándar y el Coeficiente de Variabilidad, los cuales son una medida de la distancia que se encuentra cada parámetro de su media.

El pH presenta valores mínimos de 6.21 y máximos de 10.48, a pesar de que los mismos son extremos se observa una media de 7.48, el cual es un valor aceptable para la vida.

De la misma manera el oxígeno disuelto ( $O_2$ ) presenta valores mínimos extremos de 0.02 mg/l y un máximo de 10.03 mg/l de  $O_2$ ; el valor medio es igual a 3.95 mg/l. Con el valor mínimo que se presenta, indica que ha habido momentos en los cuales se ha consumido casi en su totalidad el oxígeno disuelto, causando la muerte de los organismos que se encuentran en el agua, así mismo se han presentado ocasiones en que el agua se ha oxigenado lo suficiente, para el desarrollo de la vida. El valor medio es un indicativo general de que la concentración de oxígeno disuelto en el Río Villalobos es bastante bajo.

La temperatura presenta valores máximos de 34.40°C y mínimos de 19.30°C con una media de 22.83°C, lo cual está perfectamente correlacionado con los valores medios de las temperaturas anuales de la República de Guatemala, (tabla 15), en la cual se puede apreciar que los valores mínimos y máximos, durante el período 1996 a 2006, van desde 18.7°C a 20.4°C. La temperatura del agua se puede apreciar con valores mayores que la temperatura ambiente, debido a que el agua puede conservar más el calor que

en el ambiente, ya que se necesita más energía calorífica para subir o bajar un grado centígrado a un gramo de agua, haciendo la relación con la masa de agua del Río Villalobos, se observa la tendencia a mantener una temperatura del agua más caliente que la temperatura ambiental.

Los sólidos disueltos totales, los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y los sólidos totales, presentan una idea general del total de sustancias o compuestos minerales disueltos en las aguas naturales, son parámetros útiles para conocer la relación edáfica y la productividad de un cuerpo de agua; las concentraciones presentadas de dichos sólidos superan en gran manera los límites máximos permisibles para aguas potables según la OMS, los cuales se encuentran entre 600 a 1000 mg/l. Si se relacionan los mismos con el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales de la República de Guatemala, en la cual se acepta hasta 3500 mg/l de sólidos suspendidos, de los cuales el valor medio de los mismos se encuentra en 555.799 mg/l, ubicando a las aguas del Río Villalobos, dentro de la clasificación de aguas residuales por la alta concentración de sólidos suspendidos.

La Dureza del agua del Río Villalobos se encuentra entre los rangos mínimos y máximos de 25 mg/l y 850 mg/l, presentando un promedio de 176 mg/l, lo cual indica que se encuentra en los LMP para aguas potables según la OMS y las normas CAPRE.

La Turbidez, no se reporta como un parámetro requerido por el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales de la República de Guatemala, pero si es solicitado por la OMS y por las Normas CAPRE, para aguas potables, los cuales se toman solamente como un parámetro de comparación. Las aguas del Río Villalobos, presentan altos contenidos de compuestos químicos que alteran la transparencia del agua, dándole a la misma un alto grado de opacidad, lo cual se puede comprobar al observar los valores mínimos y máximos de Turbidez, los cuales van de 0.00 a 1890 UTN.



El valor mínimo que se observa es el presentado por el único río que no pertenece a la subcuenca del Río Villalobos el cual es el Río Chanquín, el cual pertenece a la subcuenca del Río Aguacapa.

Con respecto a los nutrientes, fósforo total y el nitrógeno total, se pueden observar valores que van desde 0.1 mg/l hasta 45.40 mg/l para el Fósforo total y para el Nitrógeno de 0.23 mg/l hasta 54 mg/l. Para el nitrógeno total se acepta hasta 1400 mg/l para aguas residuales según el reglamento para aguas residuales de la República de Guatemala, indicando con esto que el mismo se encuentran en valores aceptables; por otro lado para el Fósforo total no se presentan límites máximos aceptables, pero al comparar los valores medios (14.36 mg/l) se puede clasificar a este río, como Mesoeutrófico (10 a 30 mg/l).

De acuerdo con el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales de la República de Guatemala, en la cual se acepta hasta 1500 mg/l de grasas, el contenido de las mismas en el Río Villalobos es muy poco ya que los mismos no sobrepasan éste límite, ya que van desde 0.00 a 890 mg/l presentando una media de 191.260 mg/l.

Los resultados de los análisis de los metales pesados, plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr) y cobre (Cu), presentan valores que sobrepasan los límites máximos permisibles(LMP), presentados por la OMS, para aguas potables, pero si los mismo se relacionan con el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales de la República de Guatemala, el plomo (Pb), se encuentra por debajo del límite máximo permisible (LMP) con una concentración media de 1.056 mg/l, siendo el LMP de 4 mg/l. Por otro lado, el cadmio (0.289 mg/l) y cromo (0.7 mg/l) presentan concentraciones medias que tampoco superan los LMP el cual es de 1 mg/l para ambos. Con respecto al cobre (Cu) se presentan valores medios de 0.618 mg/l los cuales se encuentran por debajo de los LMP por la OMS (5 mg/l) y el reglamento de aguas residuales de la República de Guatemala (4 mg/l).

Otros contaminantes analizados, son el cianuro (CN) y el silicio (Si). El primero CN, la OMS acepta hasta 0.007 mg/l, el reglamento para aguas residuales de la República de Guatemala, acepta hasta 6 mg/l, un valor medio de 1.96 mg/l lo cual es aceptable para dicho reglamento, no así para la OMS.

El silicio (Si) presenta valores que van desde 2.01 a 74 mg/l, siendo el valor medio de 23.42 mg/l. El silicio, tiene una gran importancia en forma reactiva o soluble que es la forma como es asimilados por los organismos, el cual es utilizado principalmente por las diatomeas, para la construcción de sus frústulas. Los altos valores de Si presentados en la subcuenca del Río Villalobos, indican las características edáficas de la misma en la cual hay mucho suelo formado por piedra de origen volcánico, como es la piedra pómes, la cual es llevada por la escorrentía a los caudales de los ríos, debido a que la mayor parte de la subcuenca del río se encuentra altamente deforestada.

El DBO y DQO, presentan valores que van desde 4 mg/l hasta 1450 mg/l para el DBO y 14 mg/l hasta 3670 mg/l para el DQO, los cuales sobrepasan en gran manera LMP de la OMS, para aguas potables y del reglamento de las descargas de aguas residuales de la República de Guatemala, el cual acepta hasta 700 mg/l para el DBO. Lo cual se debe al alto contenido de nutrientes químicos, por lo que se produce un aumento del consumo de la DQO, y por la presencia de microorganismos que aumentan su población cuando hay más nutrientes para alimentarse.

Por último se analiza la presencia de Coliformes totales y fecales, los cuales se encuentran en valores medios muy arriba de los LMP del reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales de la República de Guatemala. Clasificando la calidad del agua del Río Villalobos, como aguas residuales, debido a la alta concentración de organismos indicadores de contaminación fecal.

Con respecto a la variabilidad y confiabilidad de los parámetros analizados, los que presentan menor variabilidad son: el pH el cual presenta un coeficiente de variabilidad (CV) de 8.57 %, la Temperatura que presenta un coeficiente de variabilidad de 8.24 % y el Fósforo total cuyo valor de coeficiente de variabilidad es igual a 0.08 %.

El valor del coeficiente de variabilidad, indica que tan alejados se encuentran todas las determinaciones de la Media.

Las aguas del Río Villalobos, son fluviales, es decir que se mantienen en movimiento, se clasifican como aguas lóxicas. Debido a esta característica parámetros como el pH se mantienen homogéneos durante todo el año, ya que el movimiento de las aguas no permite que los compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos que alteran el pH, se acumulen causando variabilidad en el mismo; lo cual se puede apreciar con el bajo valor de CV.

La temperatura tampoco presenta una alta variabilidad, esto se debe a la ubicación geográfica de Guatemala, en la cual no existen climas extremos sino que se mantiene un clima tropical, lo cual permite que los valores de la temperatura se mantengan alrededor de la Media, la cual es de 22.83 °C; el valor medio de la temperatura ambiental durante el período 1996 a 2006 es de 17.66 °C, el cual se encuentra por debajo de la temperatura media del agua, esto se debe a las propiedades conservativas del calor que presenta el agua.

El otro parámetro que presenta un Coeficiente de Variabilidad bajo, es decir que los resultados se encuentran muy cercanos a la media, es el Fósforo Total el cual presenta un coeficiente de variabilidad de 0.0877 %. Se analiza este parámetro, porque indica contaminación por fertilizantes y detergentes. La concentración de Fósforo total, en la cuenca del Río Villalobos es aportada principalmente por los desechos orgánicos y los detergentes, los cuales son constantes durante todo el año. La variabilidad no es tan grande por que esta

región no es agrícola, en las cuales los ríos aumentan la concentración de los fosfatos con las escorrentías.

#### **4.2. Análisis de Varianza de una vía por punto de muestreo**

A continuación se presentan los resultados del Análisis de Varianza de una vía para cada punto de muestreo del 1 al 14, para determinar si existe o no, diferencias significativas entre los puntos de muestreo.

**Tabla 10. Resultados de análisis de Varianza de una vía para cada parámetro analizado por punto de muestreo.**

Variable	Grados de libertad del efecto	Grados de libertad del error	F calculada	Proporción
pH	13	140	11,41955	0,000000
O <sub>2</sub>	13	140	56,16628	0,000000
TEM	13	140	2,10286	0,017374
SolDisT	13	140	18,86192	0,000000
Ssed	13	140	11,83674	0,000000
Ssusp	13	140	20,46518	0,000000
Stotales	13	140	16,86722	0,000000
Dureza	13	140	21,56214	0,000000
Turbidez	13	140	32,73210	0,000000
P total	13	140	37,69912	0,000000
N total	13	140	69,76596	0,000000
GRA	13	140	13,15311	0,000000
Pb	13	140	11,72234	0,000000
Cd	13	140	5,55795	0,000000
Cr	13	140	9,78961	0,000000
Cu	13	140	11,27217	0,000000
CN <sup>-</sup>	13	140	1,01030	0,444796
Si	13	140	19,09445	0,000000
DQO	13	140	43,03100	0,000000
DBO	13	140	37,58853	0,000000
Col Tot	13	118	8,11713	0,000000
Col Fec	13	118	8,02812	0,000000

El análisis de Varianza, se define como una técnica mediante la cual la variación total presente en un conjunto de datos se distribuye en varios componentes. Asociada con cada uno de estos componentes hay una fuente específica de variación, de modo que en el análisis es posible averiguar la magnitud de las contribuciones de cada una de estas fuentes de variación total.

Para poder interpretar el resultado del análisis de varianza fue necesario plantearse dos hipótesis de investigación:

Hipótesis nula (Ho) = todas las medias de las poblaciones son iguales, y las poblaciones se centran en el mismo punto (la media común).

Hipótesis alterna ( $H_i$ ) = Al menos una de las medias de las poblaciones difiere de todas las demás que son iguales entre sí.

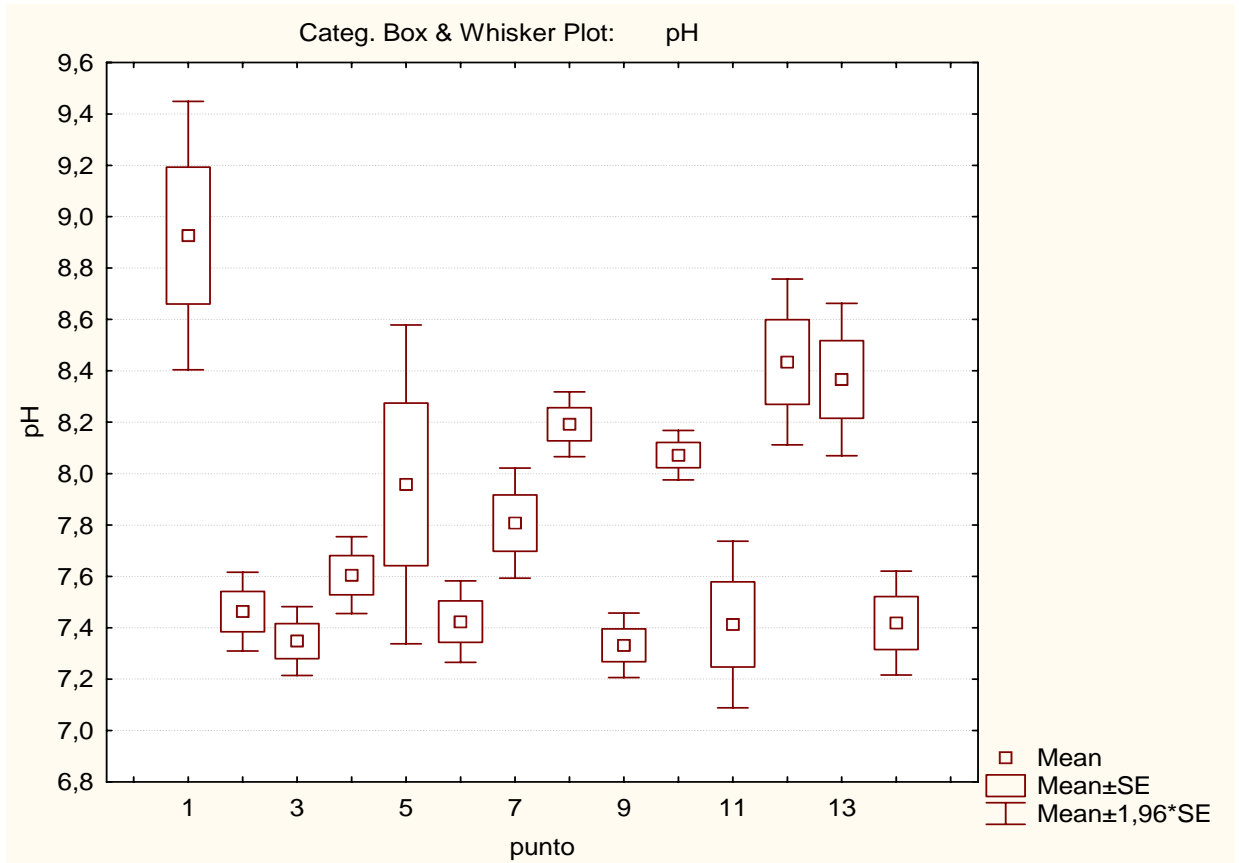
Para poder aceptar la hipótesis nula es necesario comparar el valor de F calculado con el F crítico, con un valor de significancia del 0.05. Si el valor de F calculado es mayor que el valor de F crítico se rechaza la hipótesis nula.

Para la presente investigación se determinó un valor de F crítico igual a 1,88, con lo que todos los parámetros analizados (exceptuando el cianuro  $CN^-$ ) presentan un valor mayor de F calculado que F crítico, rechazándose con esto la hipótesis nula ( $H_0$ ), en la que se define que todas las poblaciones son iguales, aceptándose la hipótesis alterna ( $H_i$ ), en la cual se confirma que al menos una de las medias de la población es diferente.

El cianuro es el único parámetro que al determinarse el Análisis de Varianza de una vía, el valor de F calculada (1.01) fue menor que el valor de F crítica (1.88). Aceptándose la hipótesis nula en la que se dice que todas las medias poblacionales son iguales, esto se puede comprobar al observar la figura 31, en la que se puede apreciar que casi todas las cajas de Whisker, tienen las mismas medidas, excepto una.

A continuación se presentan las gráficas de cajas de Whisker, en donde para cada punto se especifica la media, la media  $\pm$  desviación estándar y media  $\pm$  1,96 x desviación estándar. La caja de Whisker, incluye la variabilidad de la media para cada punto de muestreo y los extremos indican cuando hay algún punto que se desvía mucho de la caja. Al mismo tiempo se discutirá cada parámetro en relación a los valores medios obtenidos y su relación con el daño que los mismos pueden causarle al ambiente acuático. Para poder realizar una discusión adecuada de los mismos se compararon los resultados con las Tablas 4, 5, 6, 7 y 8. Estas tablas se refieren a los parámetros de calidad del agua y los Límites Máximos Permitidos (LMP), de acuerdo con la Organización Mundial para la Salud (OMS), la ley de Aguas

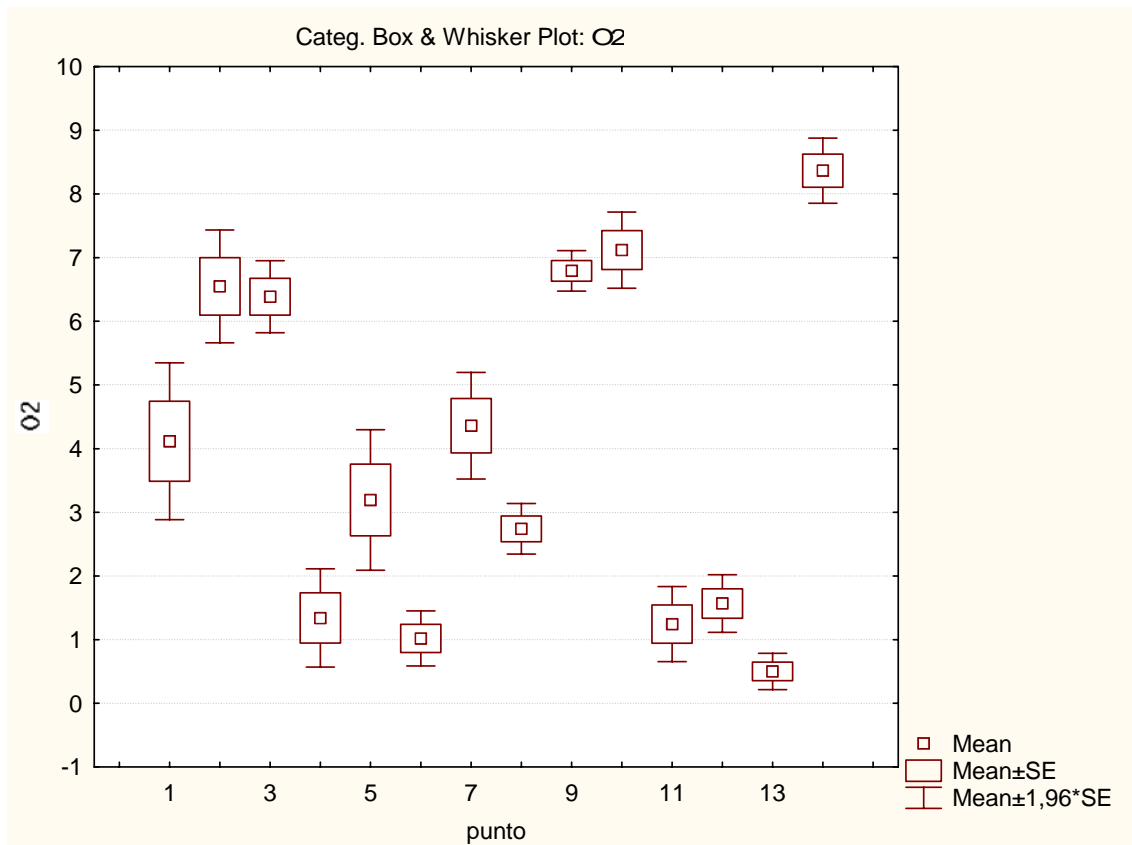
Residuales de la República de Guatemala y las Normas CAPRE, para agua potable.



**Figura 15.** Determinación de pH en los 14 puntos de muestreo

A pesar de que la hipótesis nula de la determinación de pH se rechaza, indicándose con esto que las medias de las determinaciones del pH en cada punto de muestreo son diferentes, esta diferencia no es tan grande como se puede observar en la figura 15.

El rango de valor de las medias va de 7.0 a 9.4, aproximadamente, con lo que solamente existe una diferencia de 1.4 puntos. Lo cual se debe a las propiedades del río, que son aguas en movimiento, no estancadas, con lo que el mismo se puede recuperar metabólicamente no permitiendo que el pH presente valores que puedan dañar en gran manera la vida de éste ecosistema, a pesar de que el mismo recibe diariamente descargas de aguas residuales tanto domésticas como industriales las cuales pueden causar súbitos cambios de pH en cualquier punto donde son descargadas.



**Figura 16.** Oxígeno disuelto por punto de muestreo.

Las medias de la determinación del oxígeno en los distintos puntos de muestreo muestran una alta variabilidad (tabla10), lo cual se puede comprobar al comparar la F calculada la cual presentó un valor de 56.16, con la F crítica con un valor de 1.88, indicando con esto que las medias son diferentes.

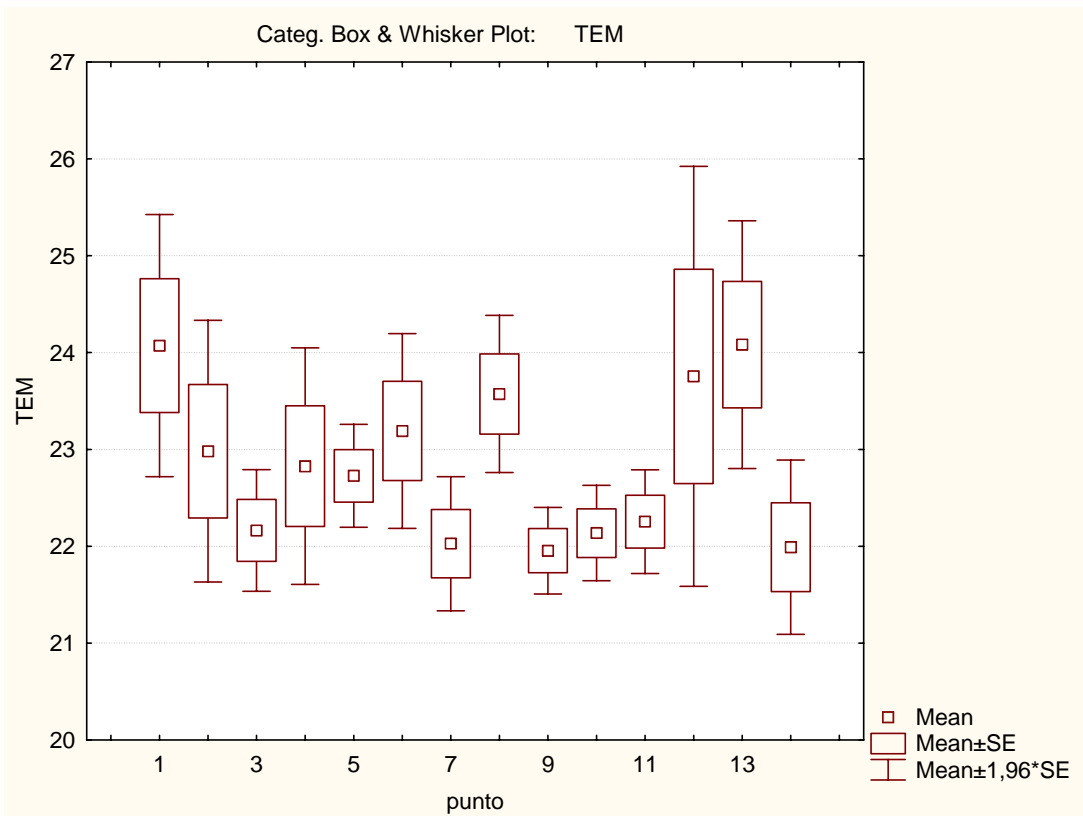


A pesar de que las medias son diferentes para cada punto de muestreo, dentro del mismo punto estas medias, no presentan una gran diferencia, esto se comprueba al observar el tamaño de las cajas de Whisker (figura 16), en las cuales se observa que los valores se encuentran muy cercanos al valor de la media, indicando con esto la confiabilidad de las determinaciones.

El oxígeno es uno de los parámetros más importantes para la vida, los puntos 4, 6, 11, 12 y 13 presentan valores extremadamente críticos, en los cuales el valor de la media del oxígeno es menor de 2 mg/L (figura 16). Con este valor de oxígeno es casi imposible que pueda existir vida acuática en un cuerpo de agua. Pueden existir bacterias anaeróbicas, parásitos y otros organismos que sobreviven a condiciones extremas que son indicadores de mala calidad del agua, los valores tan bajos en estos puntos se debe a que el movimiento del río en esos puntos es mas lento, con lo que disminuye la oxigenación del mismo.

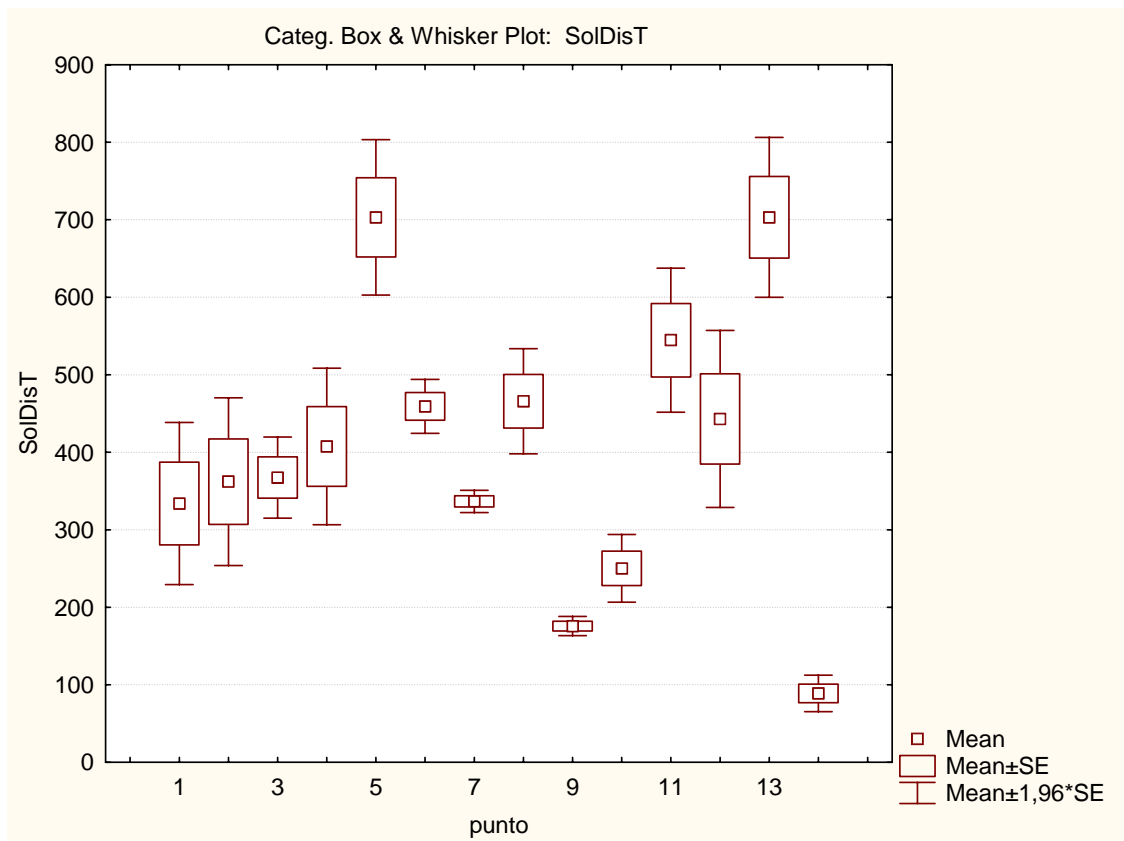
Los puntos de muestreo que presentan un valor aceptable de oxígeno son: el punto 1 Río Chanquín, el punto 5, entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán y punto 8, Río Pinula (figura 16), los cuales por el movimiento y el caudal del río hacen que el mismo se oxigene de una forma aceptable.

Los puntos de muestreo que presentan la mejor oxigenación son el punto 2 Sedimentador el Búcaro, punto 3 Río Guadrón, punto 9 Sedimentador El Molino, punto 10 Río El Zacatal y el punto 14 Río Tulujá (figura 16). En la mayoría de los cuales se encuentran los sedimentadores los cuales son una especie de diques, que se han construido dentro del cause del río para disminuir los desechos sólidos que transporta el río, son una especie de trampa, pero después de que el río pasa por los mismos se forma una pequeña cascada la cual oxigena el río. Los otros puntos, que son el Río Guadrón, el Zacatal y Tulujá, también presentan pequeñas cascadas que producen aumento en la oxigenación del río.



**Figura 17.** Temperatura en °C por punto de muestreo

En el análisis de varianza de la temperatura, se calculó un valor de F igual a 2.10, el cual no está muy arriba del valor de la F crítica que es igual a 1.88 (tabla 10). Con lo que se demuestra que las medias de la determinación de la temperatura en los catorce puntos de muestreo son diferentes (figura 17), pero esa diferencia no es muy grande ya que el rango de las medias va de 21°C a 26 °C, siendo solamente 5 °C de diferencia. Lo cual se debe a la región tropical en la que se encuentra la República de Guatemala, en donde no se presentan grandes variaciones de temperatura.

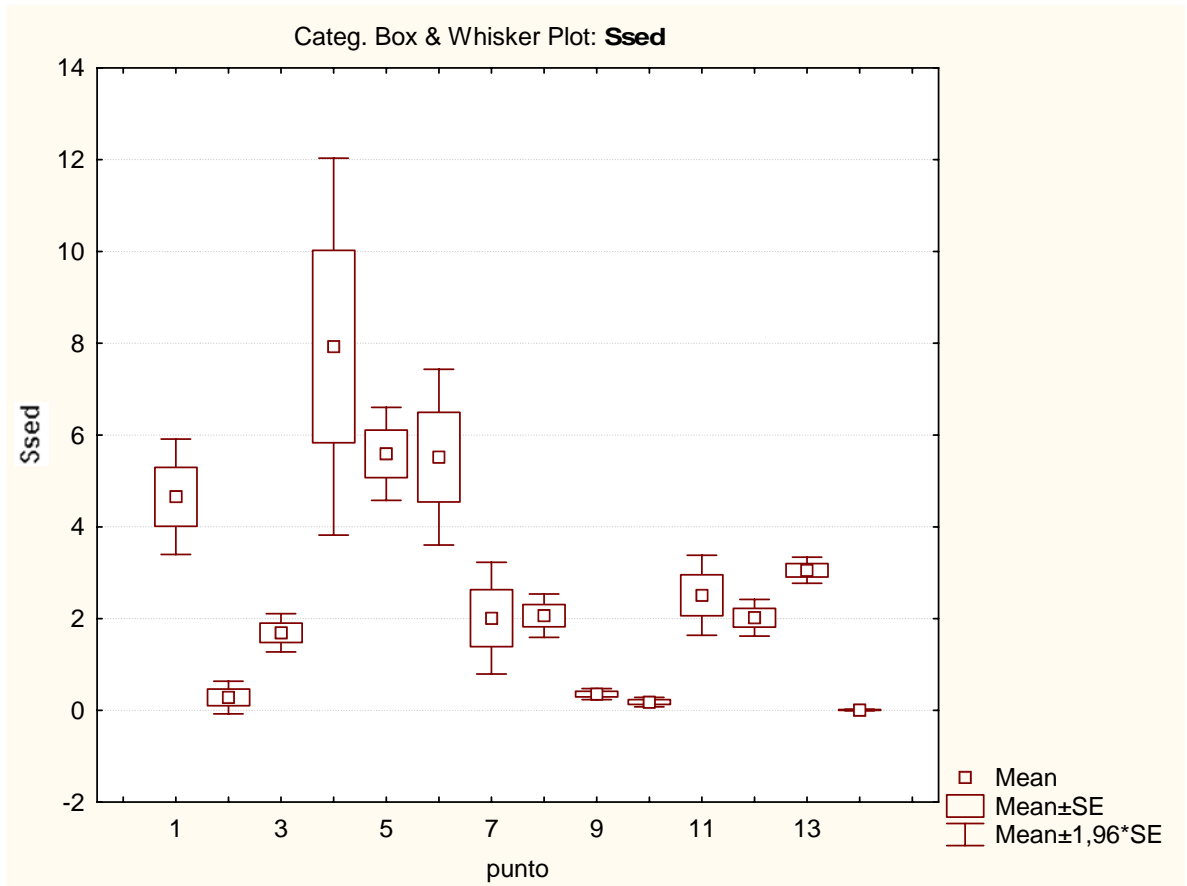


**Figura 18.** Sólidos Disueltos totales en mg/l, por punto de muestreo

El análisis de Varianza de los Sólidos Disueltos Totales se calculó  $F$ , la cual dio un valor igual a 18.56, al compararlo con el valor de la  $F$  crítica igual a 1.88, se rechaza la hipótesis nula en la que se afirma que no existe diferencia entre las media (tabla 10).

El valor de las medias de cada punto de muestreo son muy diferentes, los valores van de 100 mg/L hasta 800 mg/L, estos valores se encuentran dentro del valor máximo admisible de las normas CAPRE, para aguas potables.

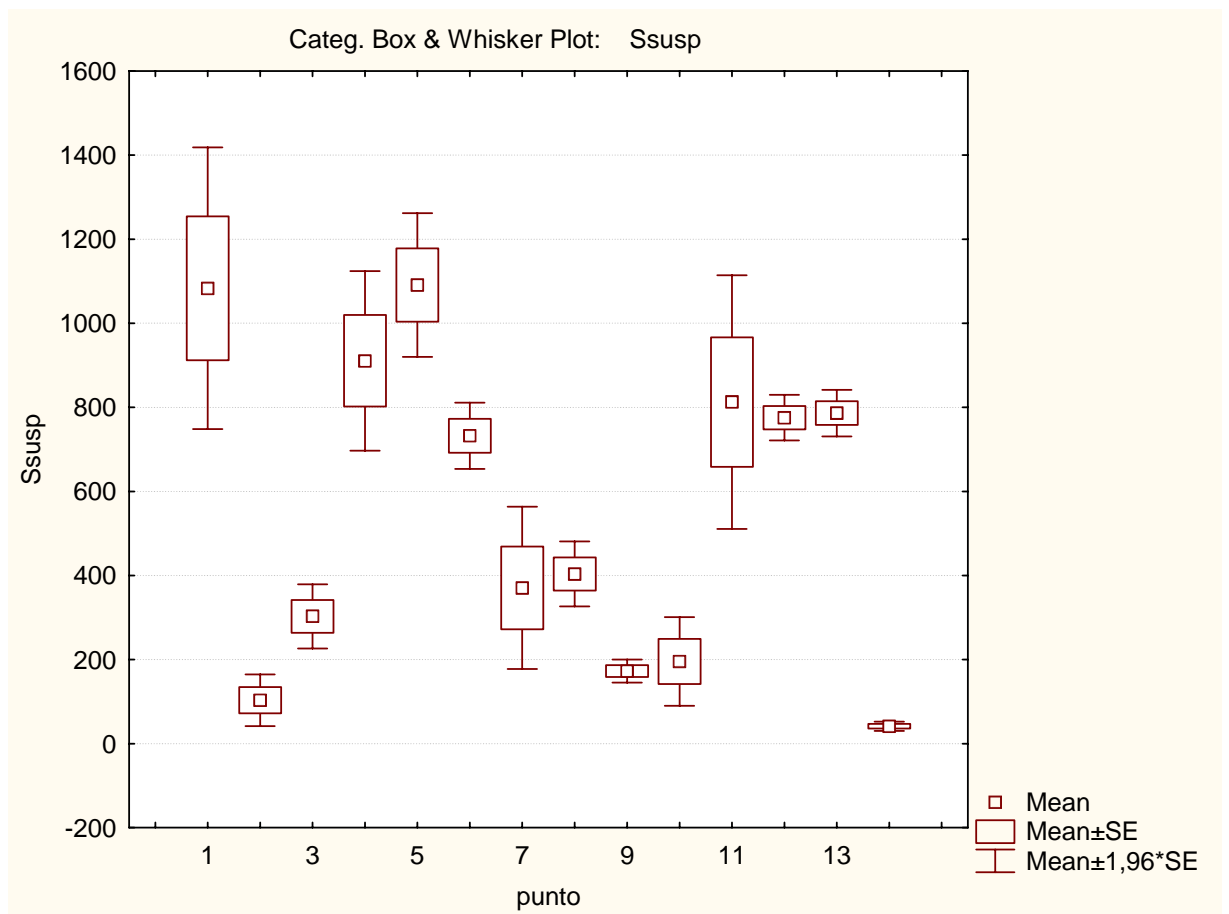
Los puntos que presentan menor concentración de sólidos disueltos totales son los puntos 9, 10 y 14 (figura 18).



**Figura 19.** *Sólidos Sedimentables, en mg/l, por punto de muestreo.*

El análisis de Varianza de los sólidos sedimentables reportó una F calculada igual a 11,83 lo cual supera el valor de la F crítica igual 1,88, con lo que la hipótesis nula se rechaza aceptándose que existe diferencia entre las medias de todos los puntos de muestreo (tabla 10).

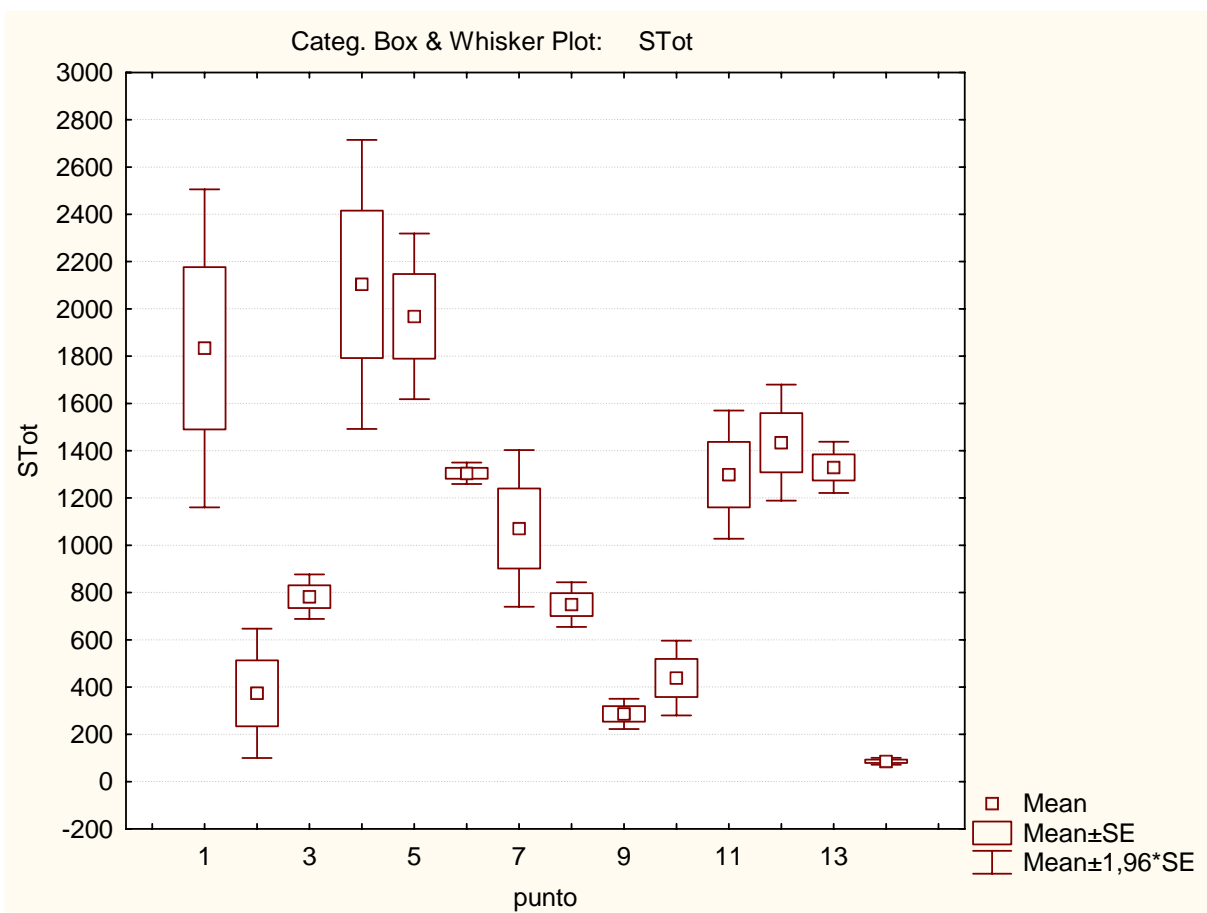
Al observar las cajas de Whisker, (figura 19), para cada punto de muestreo se puede comprobar que los puntos 2,3,5,8,9,10,12,13 y 14, no se encuentran muy alejados del valor de la media, ya que el tamaño de estas cajas es muy pequeño, no siendo así en el punto 4, en el cual el tamaño de la caja es muy grande, indicando que los valores de la medias anuales se encuentran muy alejadas unas de otras.



**Figura 20.** Sólidos Suspendidos en mg/l, por punto de muestreo.

El análisis de Varianza de los Sólidos Suspendidos reportó un valor de F calculada igual a 20,48 el cual supera el valor de la F crítica, la cual es igual a 1,88 con lo que se rechaza la hipótesis nula en la que se afirma que no existe diferencia entre las medias de los puntos muestreados (tabla 10).

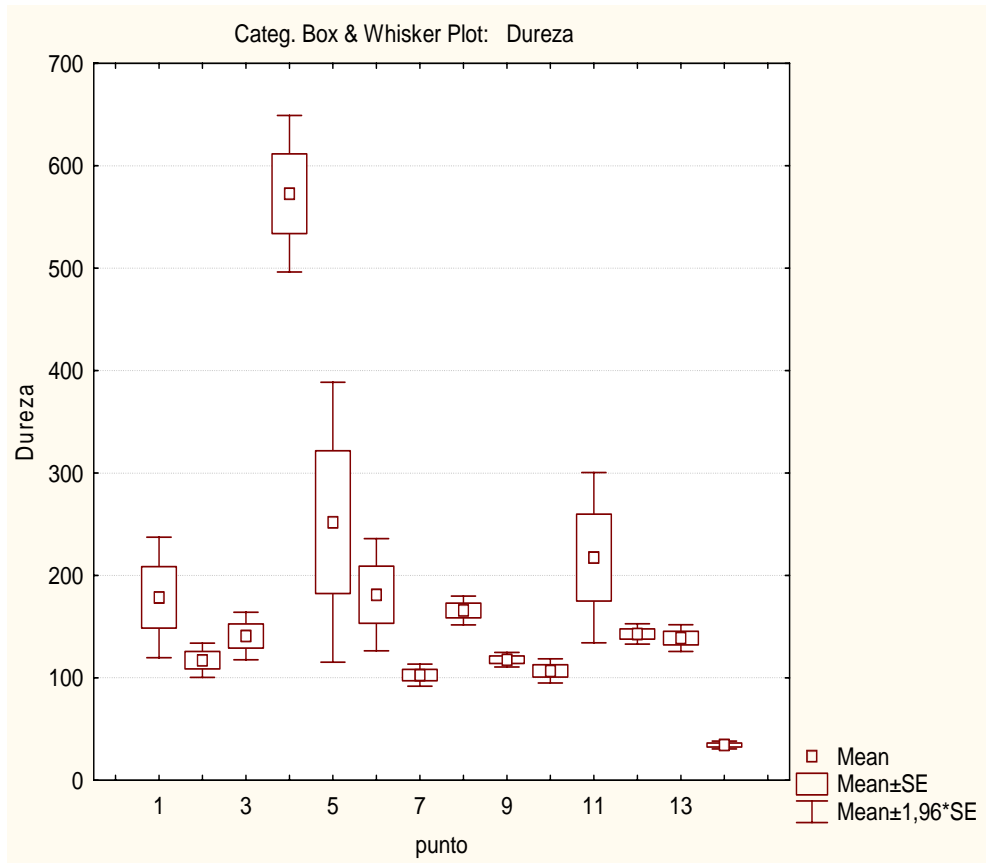
Los puntos que presentan valores de las medias más bajos son: 2, 3, 7, 8, 9, 10 y 14. De los cuales los que presentan menos variabilidad entre sus medias son el punto 9 y 14, lo cual se puede comprobar al observar que el tamaño de la caja de Whisker (figura 20) es muy pequeña.



**Figura 21.** Sólidos Totales en mg/l, por punto de muestreo.

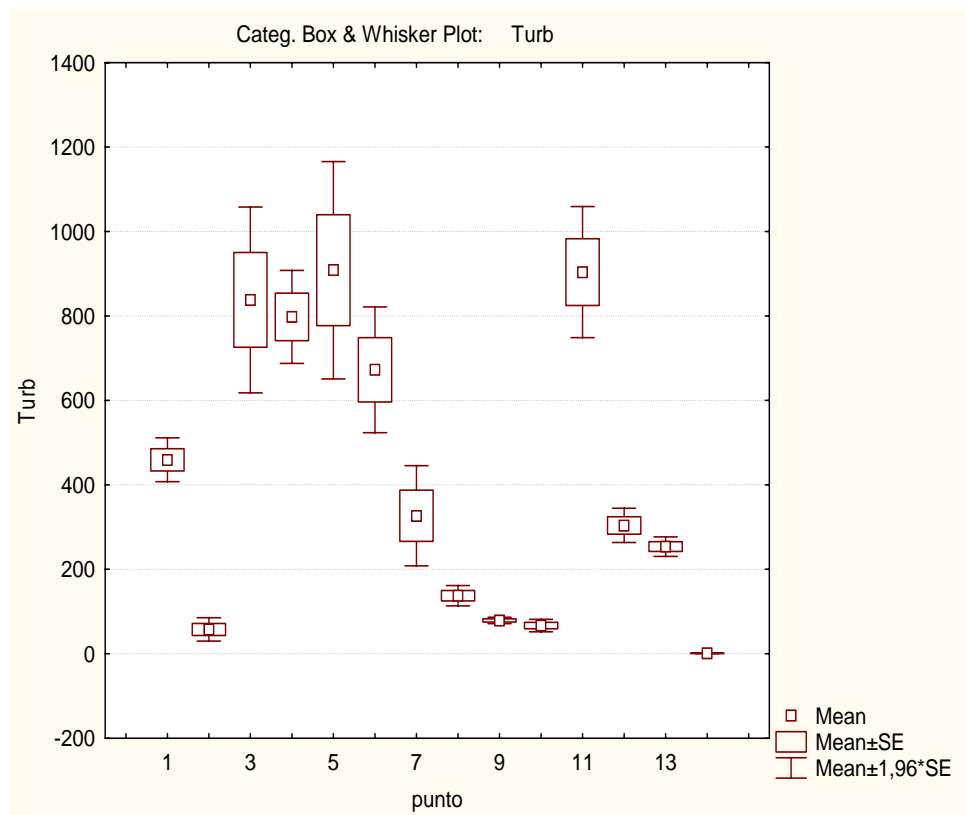
El análisis de varianza de las medias de los Sólidos totales reportó un valor de F calculada igual a 16.56, lo cual supera a la F crítica la cual es igual a 1.88, demostrándose que los valores de las medias de cada punto son diferentes (tabla 10).

Los puntos de muestreo que presentan los menores valores de Sólidos totales son los siguientes: 2, 9, 10 y 14, los cuales se correlacionan en gran manera con las otras formas para la determinación de sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y sólidos totales. El punto 9 y 14 presentan valores que no se alejan mucho de la media, lo cual se demuestra al observar el tamaño de la caja de Whisker (figura 21) la cual es muy pequeña. Los valores obtenidos de los Sólidos totales son aceptables para aguas potables según las normas de la Organización Mundial para la Salud (OMS).



**Figura 22.** Dureza en mg/l de CaCO<sub>3</sub>, por punto de muestreo.

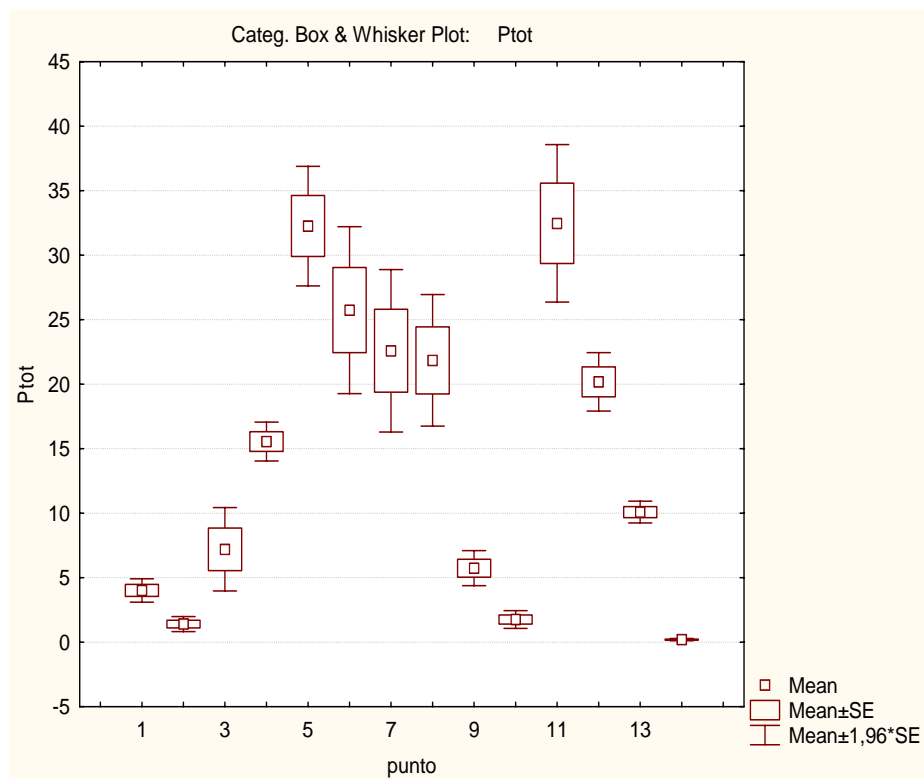
En el análisis de la Dureza se puede observar que la mayoría de los puntos muestreados presentan valores debajo de los 400 mg/L, Los puntos 2, 3, 7, 9, 10, 12, 13 y 14, presentan los valores más bajos de Dureza. por el tamaño de las cajas de Whisker se demuestra que la variabilidad es muy baja con respecto a la media (figura 22). Estos valores de la Dureza indican que en este aspecto el agua de los ríos se encuentran en el límite máximo permitido para las aguas potables según las Normas de la OMS y las normas CAPRE.



**Figura 23.** Turbidez en UTN, por punto de muestreo.

Los resultados del análisis de Varianza de la Turbidez, demuestra que las medias de las determinaciones de los catorce puntos de muestreo son diferentes. De éstos, los puntos que presentan valores que se encuentran muy cercanos a la concentración máxima permitida para agua potable según la OMS son los puntos 2, 8, 9, 10 y 14. Estos mismos puntos presentan una variabilidad muy pequeña con respecto a la media, lo cual se puede comprobar al observar el tamaño de las cajas de Whisker (figura 23).

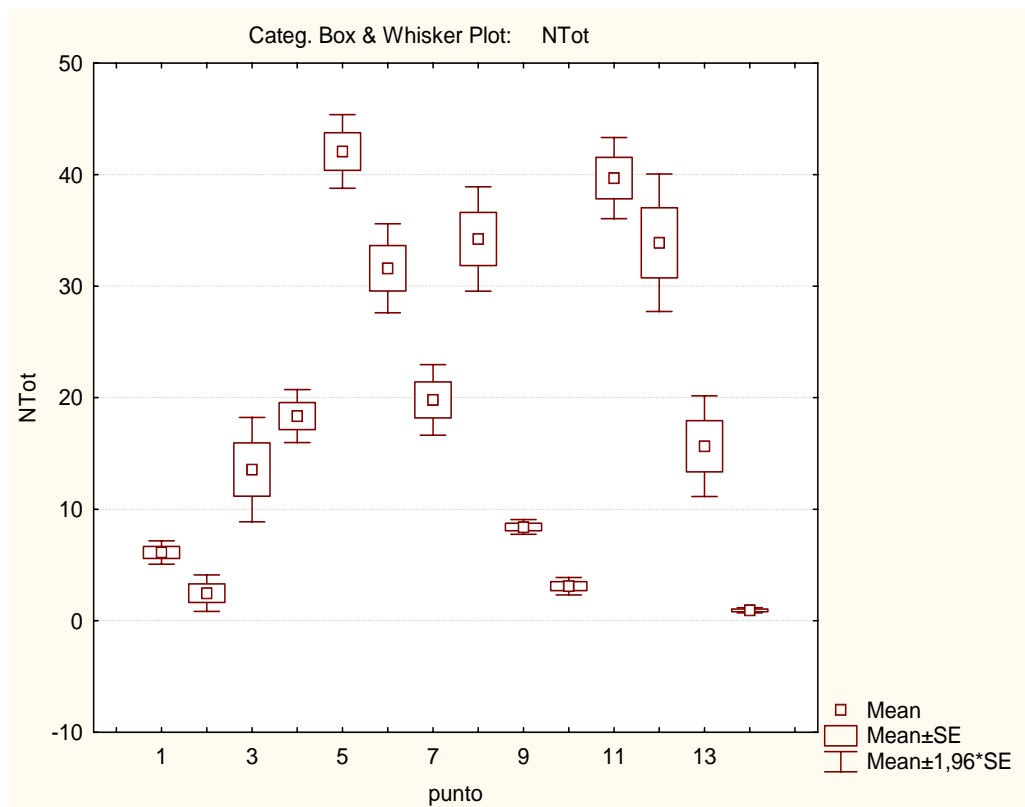




**Figura 24.** Fósforo total en mg/L, por punto de muestreo.

El calculo del Análisis de Varianza del Fósforo Total demuestra que sí existe variabilidad entre las medias (tabla 10). Los puntos de muestreo 1, 2, 3, 9, 10, 14, presentan valores aceptables de éste parámetro, en los que el tamaño de la caja de Whisker (figura 24) es muy pequeña. El fósforo no se presenta en valores que varían mucho debido a que ésta región no es agrícola.

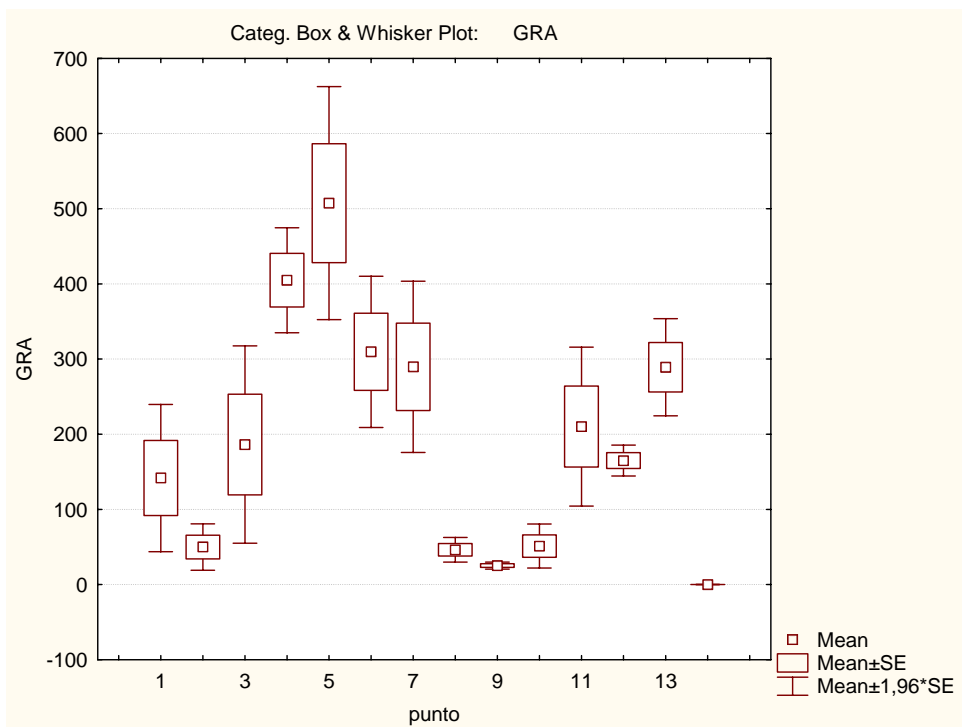
A pesar de que la concentración del fósforo no es tan alta, el constante ingreso de compuestos cargados con derivados del fósforo, contribuyen a que el agua del Lago de Amatitlán, que es el destino final de las aguas del Río Villalobos, acumulen los nutrientes produciendo un proceso conocido como eutroficación, el cual a la larga puede causar que el lago se convierta en un pantano.



**Figura 25.** Nitrógeno total, por punto de muestreo.

El nitrógeno tiene un comportamiento similar al del fósforo total, en el cual los valores de las medias de los puntos monitoreados, son diferentes entre sí, pero dentro de cada punto de muestreo se observa que la variabilidad es muy pequeña, lo cual se comprueba con el tamaño tan pequeño de las cajas de Whisker (figura 25).

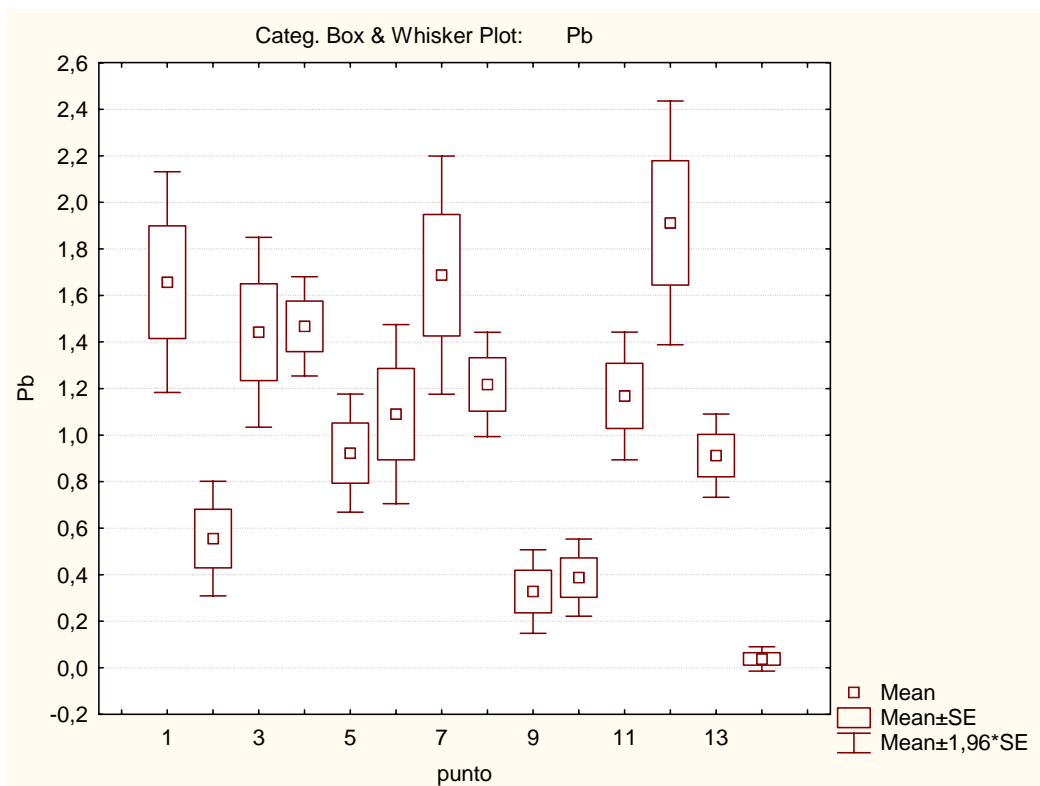
Los puntos que presentan menores valores de nitrógeno total se relacionan con los que presentan menores valores de fósforo, los cuales son: 1, 2, 9, 10 y 14; en los cuales los valores se encuentran muy cercanos a los límites máximos para aguas potables según la OMS lo cual se debe a que la región en donde se encuentra el Río Villalobos no es una región agrícola, sino industrial, sin embargo el punto que mayor concentración de nitrógeno total presenta es el punto 6 el cual sí se encuentra en una región agrícola.



**Figura 26.** Grasas y aceites en mg/l, por punto de muestreo

La determinación de las grasas y aceites en todos los puntos de muestreo demuestran variabilidad entre las mismas, debido a que el valor de la F calculada es mayor que la F crítica. Los valores de las medias se encuentran arriba del límite máximo para considerarse como agua potable según la OMS y debajo del límite para aguas residuales, según el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos de la república de Guatemala (tabla10).

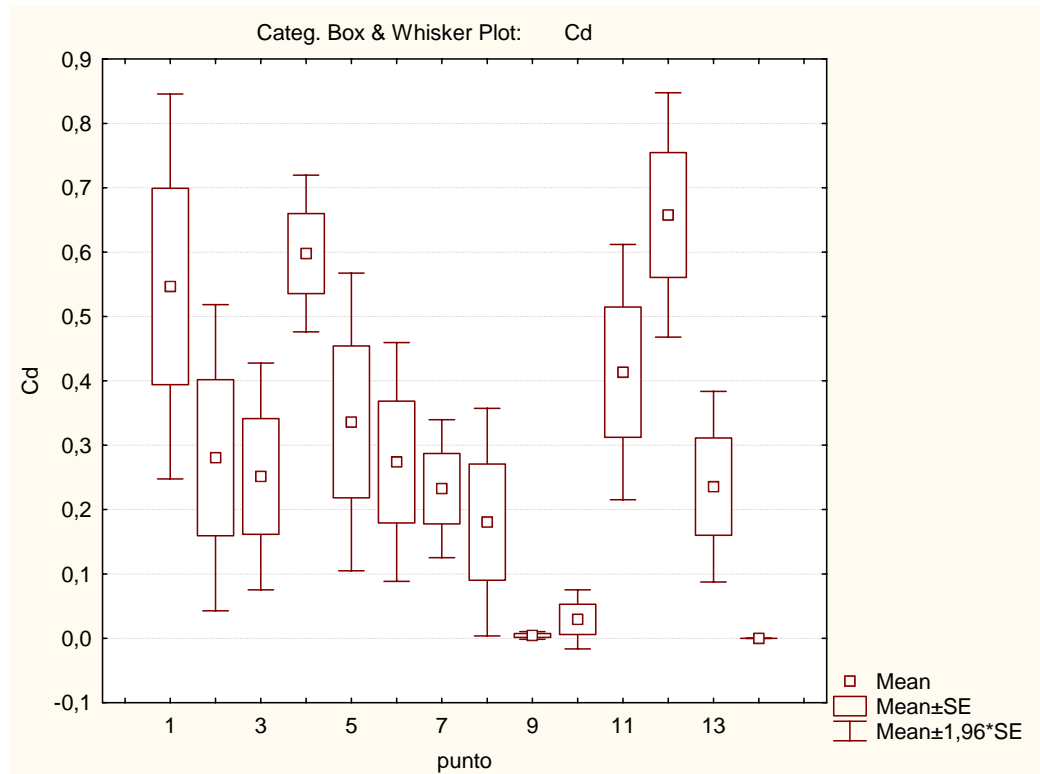
Los puntos que presentan valores aceptables son: 1, 2, 8, 9, 10 y 14; en los que el valor se encuentra debajo de 100 mg/L. Al mismo tiempo se observa que en estos puntos de muestreo la variabilidad con respecto a la media es muy pequeña, lo que se comprueba con el tamaño de la caja de Whisker (figura 26). Esto se debe a que en las cercanías de los mismos no se encuentran industrias contaminantes con grasas y aceites.



**Figura 27.** Plomo en mg/l, por punto de muestreados

Al observar la gráfica de los resultados del análisis del plomo y comprobar los resultados del análisis de Varianza, se demuestra que las medias de los catorce puntos muestreados son diferentes. Los valores de las medias se encuentran arriba de los límites máximos permisibles para aguas potables según la OMS, pero por debajo de los límites para aguas residuales según el reglamento para aguas residuales de la república de Guatemala, esto se debe a que las determinaciones se realizaron en agua la cual va corriendo por lo que no existe un proceso de acumulación como el que pueden presentar los lodos y sedimentos (figura 27).

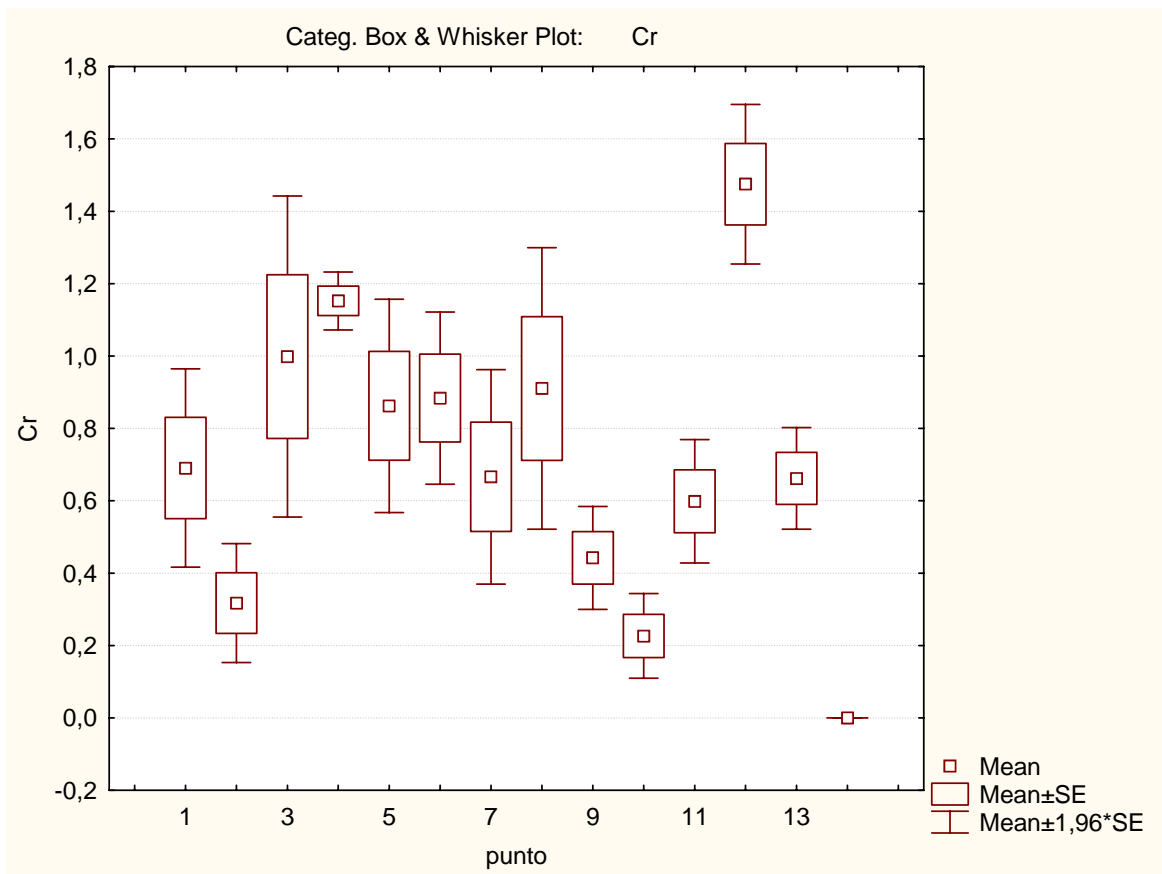
Los puntos 2, 9, 10 y 14 son los que presentan valores menores de plomo, en comparación con los otros puntos de muestreo. El punto 14 es el que presenta una menor concentración y una menor variabilidad con respecto a la media (figura 27).



**Figura 28.** Cadmio en mg/l, por punto de muestreo.

La determinación del cadmio presenta valores con alta variabilidad, con respecto de un punto de muestreo con otro. Los resultados se encuentran por arriba de los valores aceptables para aguas potables según la OMS, pero por debajo del límite para aguas residuales según los límites para aguas residuales de la república de Guatemala.

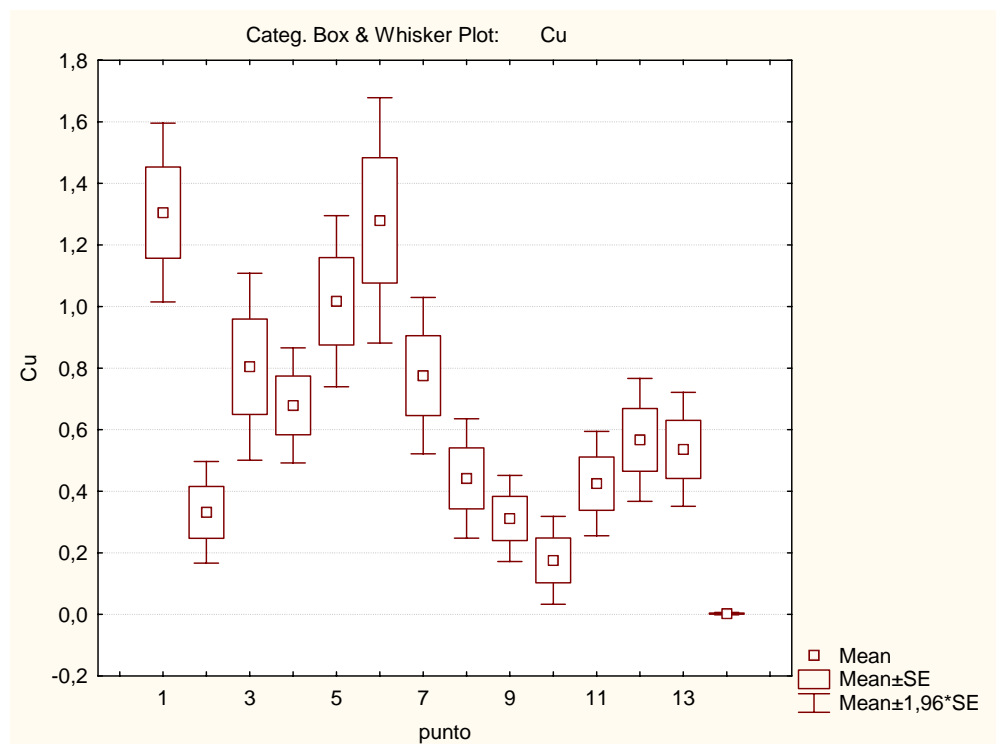
Los puntos que presentan un menor valor y menor variabilidad con respecto a la media son los puntos 9, 10 y 14, lo cual se comprueba al observar el tamaño de la caja de Whisker (figura 28), la cual es extremadamente pequeña.



**Figura 29.** Cromo en mg/l, por punto de muestreo.

El cromo  $\text{Cr}^{+6}$ , presenta la mayor concentración en los puntos 1 y 6 (figura 29), los cuales son el Río Chanquín y la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán, los valores reportados sobrepasan los límites máximos permisibles para agua potable reportado por la OMS, el cual es de 0.05 mg/l y de 1.0 mg/l según el Reglamento de las descargas de aguas residuales de la República de Guatemala. En lo que respecta al punto 1, el cual es el Río Chanquín la razón por la cual se encuentra elevado el valor del cromo se puede deber a la geología del terreno ya que este río presenta condiciones muy limpias y alejadas de la urbanización; por el contrario el valor reportado por la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán, se debe a la acumulación de la contaminación que acarrea el mismo hasta el lago.

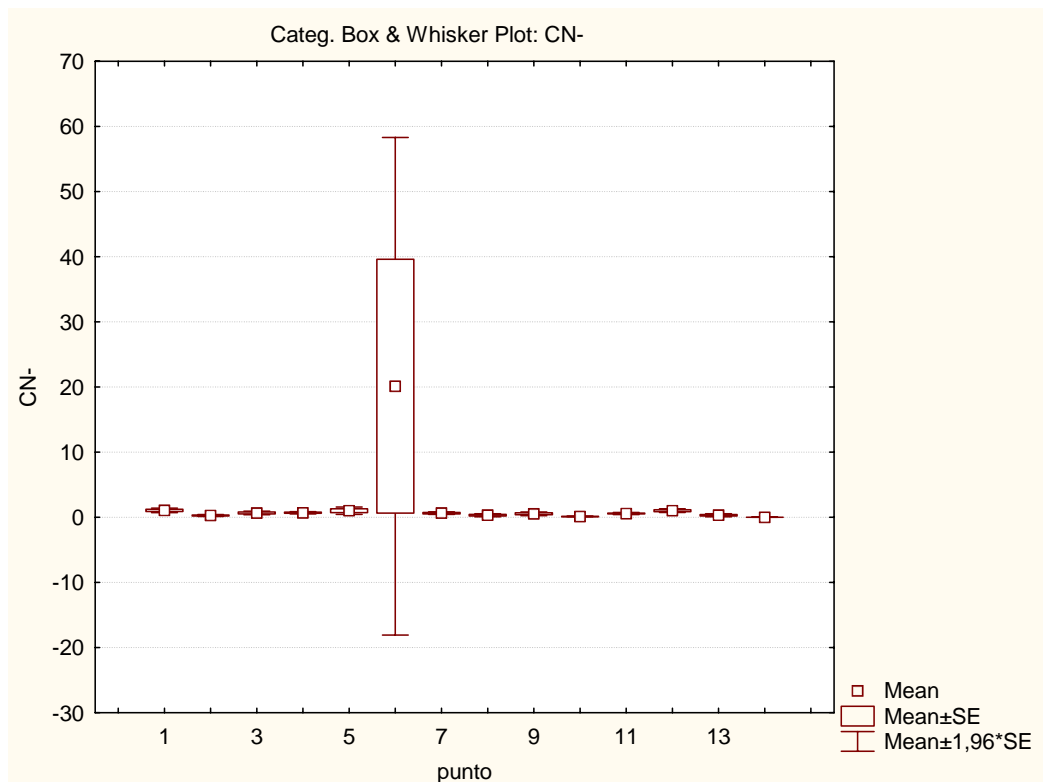
Los resultados de la determinación del cobre (Cu), se pueden observar en la figura 30, en la que se demuestra que existe una gran variabilidad entre todas las determinaciones, en los diferentes puntos de muestreo. Los puntos 10, Río Zacatal y el punto 14, Río Tuluja, son los que presentan menores concentraciones de éste compuesto químico. Los otros puntos de muestreo, presentan valores que van en aumento, pero no sobrepasando los LMP por la OMS para aguas potables y para las aguas residuales según el Reglamento para las descargas de aguas residuales de la República de Guatemala, en los cuales se acepta hasta 5 mg/l de Cu.



**Figura 30.** Cobre en mg/l, por punto de muestreo.

Con respecto a la determinación de cianuro (CN) es el análisis que presenta menos variabilidad, lo cual se puede observar en la figura 31, en la

cual se comprueba que todos los resultados de los catorce puntos de muestreo, se encuentran muy cercanos a la media y dentro los límites máximos permisibles (LMP) según la OMS y el Reglamento de descargas y reuso de agua residuales de la República de Guatemala. No siendo así para el punto 6 el cual es el Río Pansalic, el cual se encuentra en la parte alta de la cuenca del Río Villalobos. La razón por la cual solamente este río presentó un valor alto de cianuro, se puede deber a que cercano al punto de muestreo se encuentra alguna industria de galvanizados o de otra índole que utiliza el cianuro para sus procesos y que luego descarta sus aguas, directamente en el caudal del Río Pansalic.



**Figura 31.** Cianuro (CN) en mg/l, por punto de muestreo.

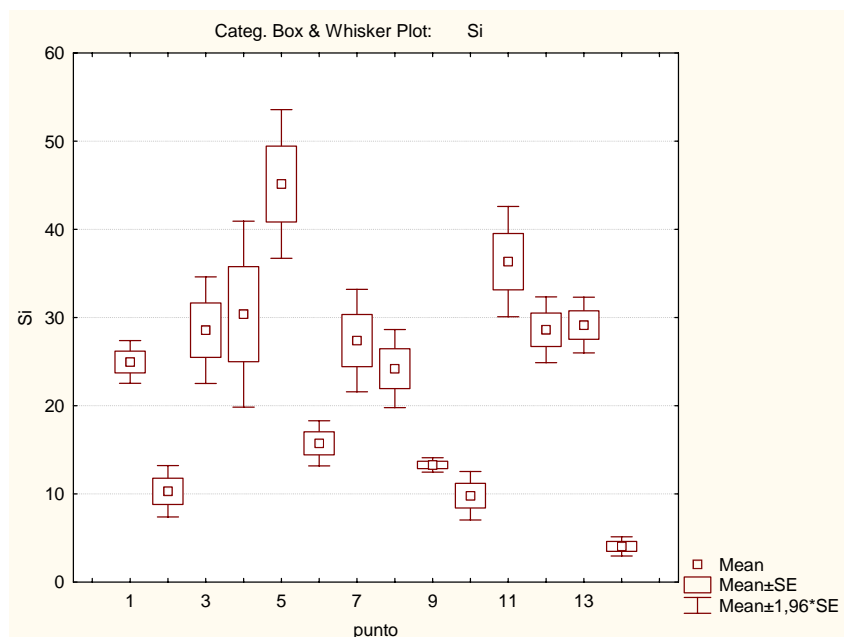
La determinación del silicio (figura 32), presenta los valores máximos en el punto 5, el cual es la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán, lo cual



se relaciona con el arrastre producido por los ríos que son afluentes del mismo y que llevan la disolución de las rocas de la corteza terrestre, la cual está compuesta por Sílice ( $\text{SiO}_2$ ). El origen de estas rocas puede ser sedimentario o magmático y son, por lo regular, del tipo feldespato.

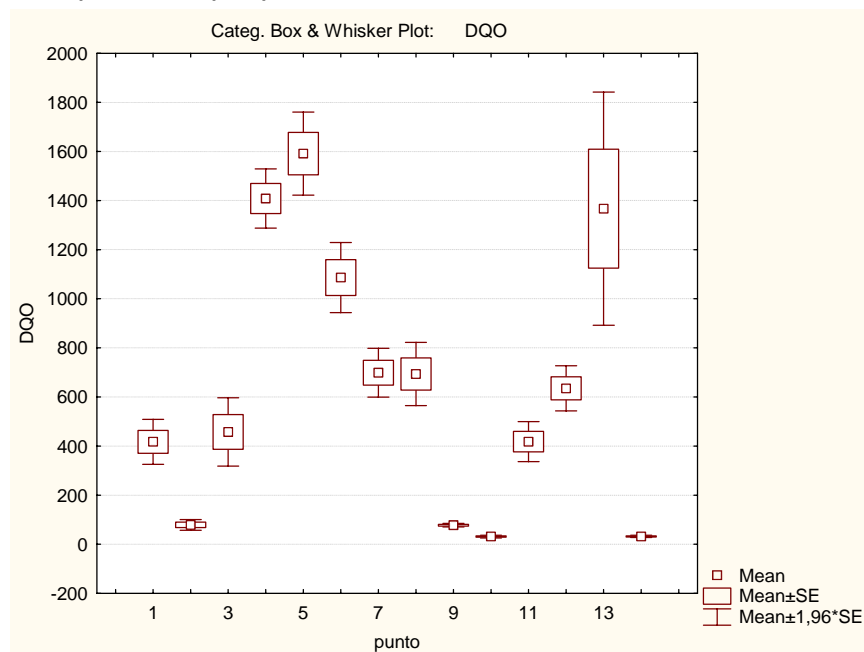
El Sílice desde el punto de vista limnológico, tiene importancia en forma reactiva o soluble, que es la forma como es asimilado por los organismos. El sílice es esencial para las diatomeas, ya que es el compuesto básico para la construcción de sus frústulas. Las esponjas de agua dulce también utilizan sílice para la construcción de sus espículas (Roldán, 1992).

El Sílice, es uno de los principales compuestos que contribuye a que en el Lago de Amatitlán se produzca un alto crecimiento de diatomeas, lo cual está bien documentado en el trabajo de investigación de Esthéfany Fuentes (2006).



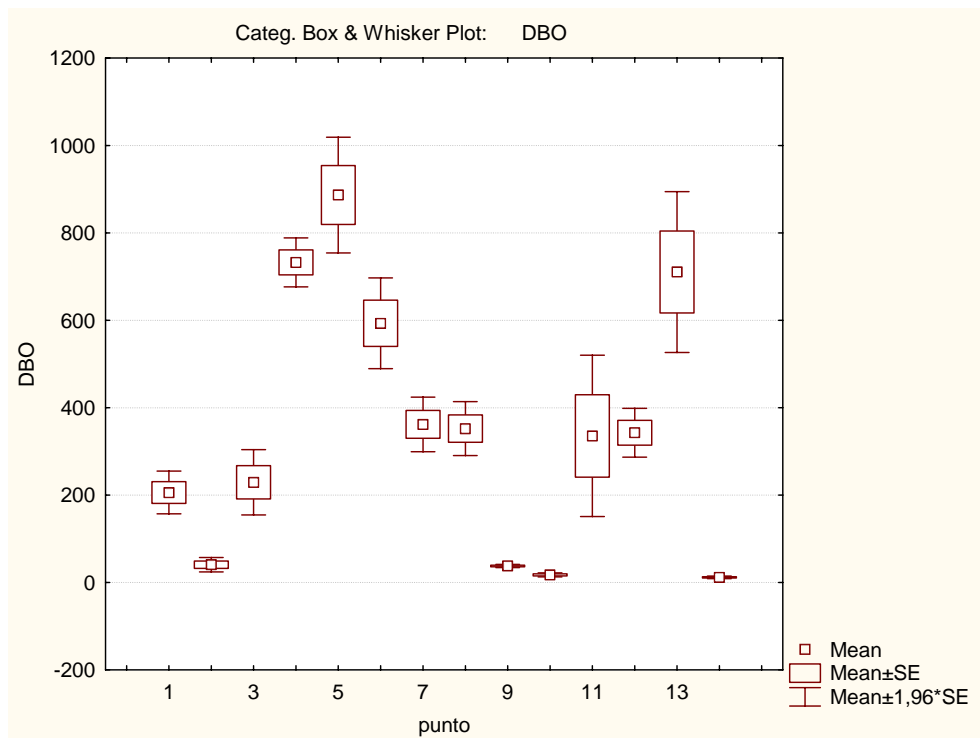
**Figura 32.** Resultados de la determinación del silicio en mg/l, por punto de muestreo.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), indica la cantidad de oxígeno disuelto  $O_2$  para la oxidación química de la materia orgánica. Los puntos de muestreo que presentan valores máximos del DQO, son el punto 4 (La Cerra) el punto 5 (entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán) y el punto 13 (Las Minas) lo cual se debe a que los mismos presentan acumulación de compuestos químicos que aumenta la DQO (figura 33). Los únicos puntos que pueden considerarse con valores aceptables para la DQO son el punto 2 Sedimentador el Búcaro, el punto 9 Sedimentador el Molino, punto 10 Zacatal y el punto 14 Río Tuluja. Los puntos de muestreo que presentan sedimentadores, demuestran valores bastante aceptables, lo cual indica la funcionalidad de los mismos para disminuir la contaminación del agua, con respecto a los otros puntos de muestreo el Zacatal y el Tuluja se puede deber a la ubicación geográfica de los mismos lo que no permite que se acumulen compuestos químicos que producen un aumento en la DQO.



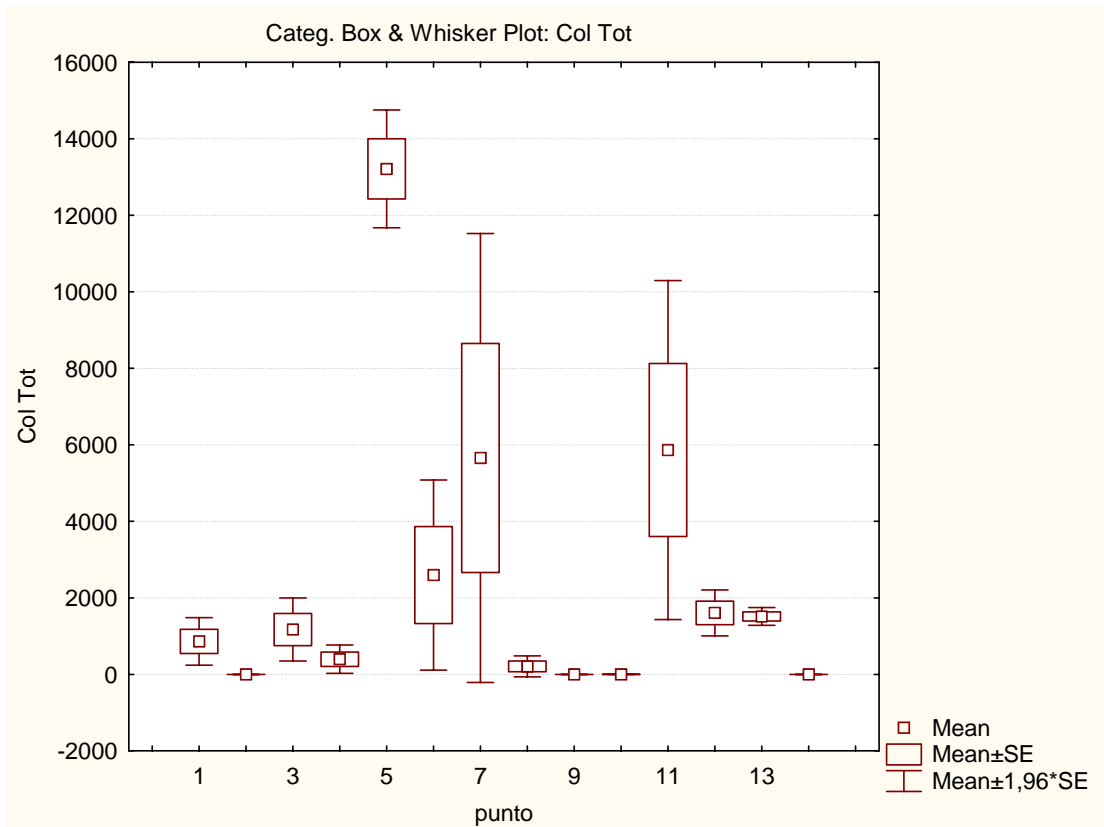
**Figura 33.** Demanda Química de Oxígeno en mg/l, por punto de muestreo.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), demuestra la cantidad de oxígeno disuelto requerido por microorganismos presentes en el agua para oxidar la materia orgánica biodegradable. El comportamiento de la DBO se relaciona con la DQO, ya que los mismos puntos presentan valores mas altos y más bajos. Los puntos que presentan valores altos son el punto 5 entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán y el punto 13 Río las Minas, lo cual se debe a la acumulación de la materia orgánica. Los puntos que presentan menores valores de la DBO, son el punto 2 Sedimentador el Búcaro, punto 9 Sedimentador Río Molino, el punto 10 Río El Zacatal y el punto 14 Río Tuluja, observándose similitud con los resultados de la DQO, lo cual se puede deber a la influencia que ejercen los sedimentadores para disminuir la contaminación del Río Villalobos (figura 34).

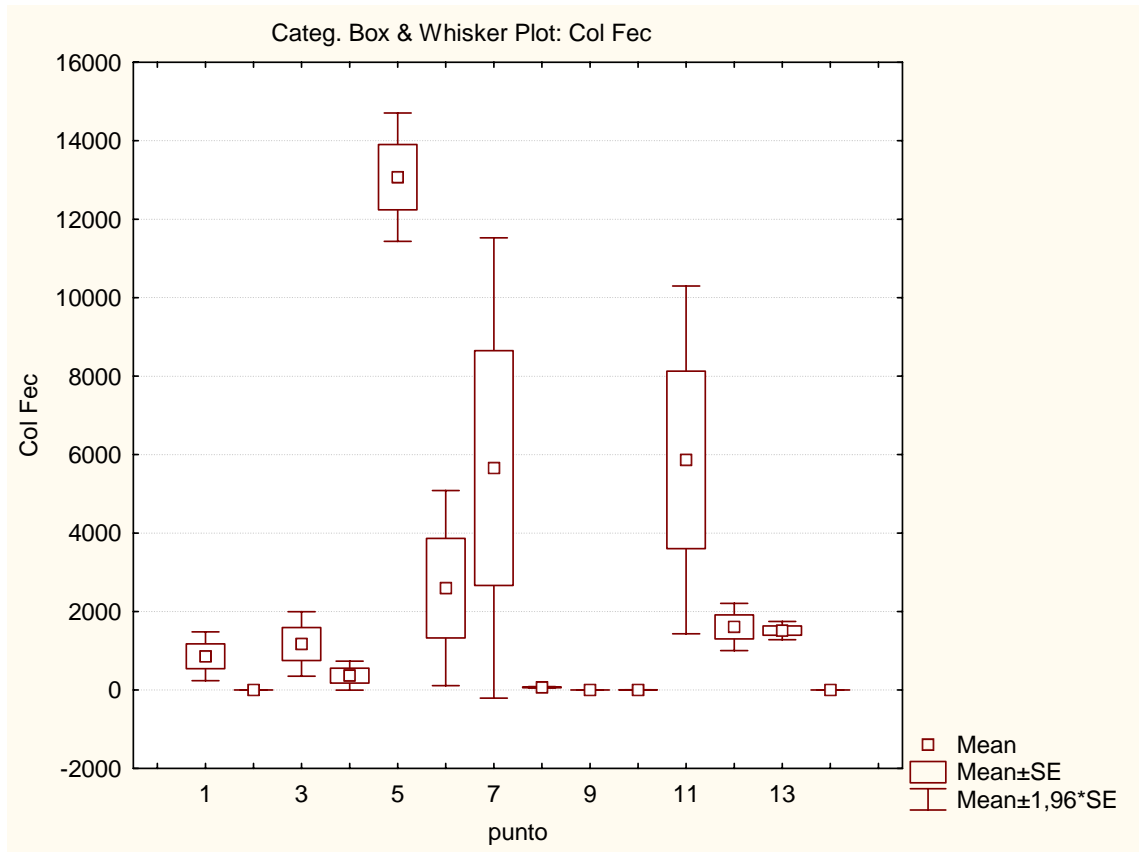


**Figura 34.** Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l, por punto de muestreo.

Los resultados del análisis de Coliformes totales y fecales están muy bien relacionados entre ambos (figura 35 y 36). Los puntos que presentan los valores más altos son principalmente el punto 5 el cual es la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán; lo cual es lógico ya que este río lleva la acumulación de la contaminación del agua que ha sido agregada al mismo durante todo su recorrido en toda la cuenca. Los puntos que presentan valores menores son los que presentan sedimentadores o se encuentran muy cercanos a los mismos, lo cual es un indicador que los mismos contribuyen a disminuir la contaminación del agua del Río Villalobos.



**Figura 35.** Coliformes totales en NMP/100 ml , por punto de muestreo.



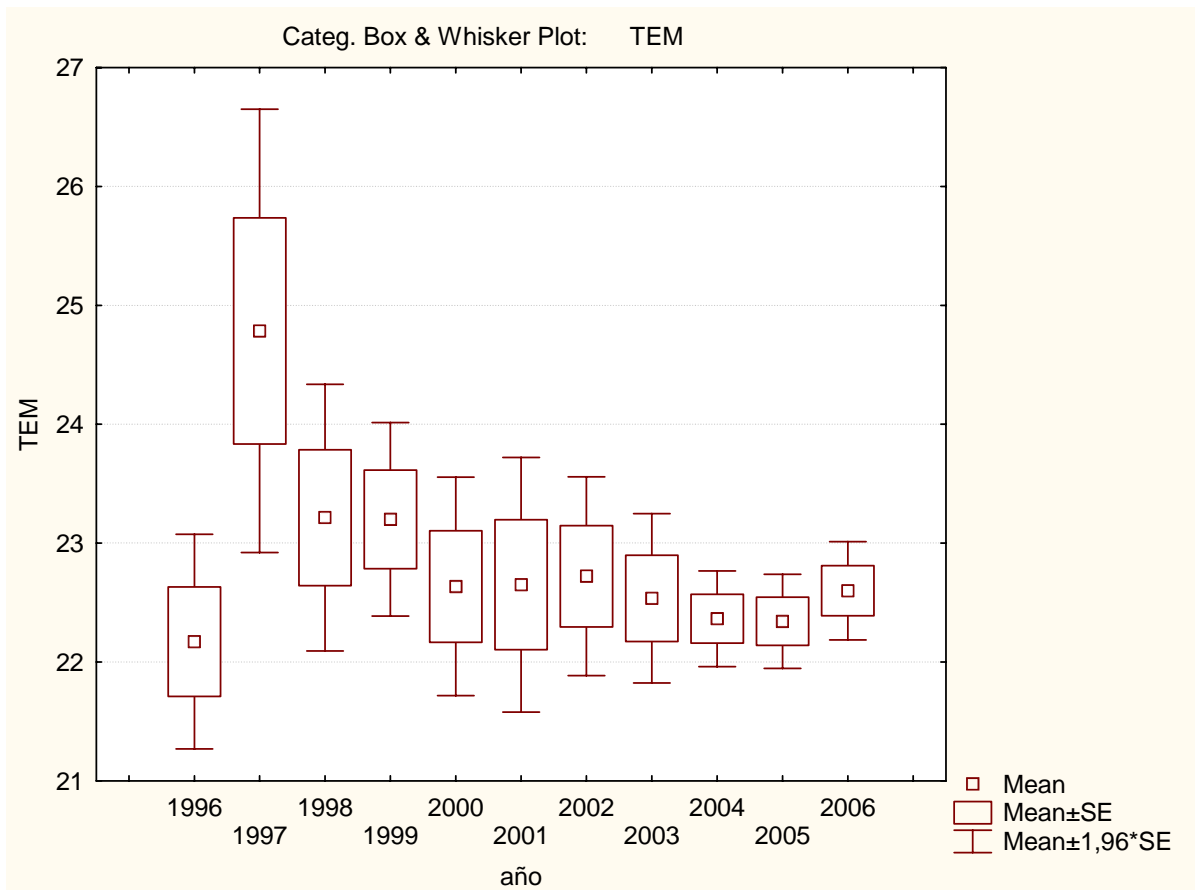
**Figura 36.** Coliformes fecales en NMP/100, por punto de muestreo.

#### **4.3. Análisis de Varianza de los parámetros de calidad del agua entre los años de muestreo 1996 a 2006**

A continuación se presentan los resultados del Análisis de Varianza de los parámetros de calidad del agua, entre el tiempo de muestreo 1996 a 2006, tomándose únicamente los resultados de temperatura (TEM) en °C, Grasas y Aceites (GRA) en mg/l, cadmio (Cd) en mg/l y cromo (Cr) en mg/l. El análisis de estos resultados demostró que sí existía una diferencia significativa con un 95 % de confianza, entre los mismo durante los años antes mencionados.

- **Tabla. 11.** Análisis de Varianza de una vía para todos los análisis por año.

Variable	Gradados de libertad del efecto	Grados de libertad del error	F calculada	Proporción
pH	10	143	0,699724	0,723512
O <sub>2</sub>	10	143	0,238944	0,991784
TEM	10	143	2,226847	0,019327
SolDisT	10	143	0,827630	0,602665
Ssed	10	143	0,570814	0,835639
Ssusp	10	143	0,633575	0,783189
Stot	10	143	0,853869	0,577912
Dureza	10	143	1,050345	0,404825
Turbidez	10	143	0,600551	0,811409
P total	10	143	0,712952	0,711213
N total	10	143	0,455679	0,915664
GRA	10	143	2,529185	0,007789
Pb	10	143	1,723232	0,080835
Cd	10	143	2,359730	0,013013
Cr	10	143	2,124765	0,026078
Cu	10	143	1,247764	0,265925
CN <sup>-</sup>	10	143	0,965735	0,475947
Si	10	143	1,368972	0,200414
DQO	10	143	0,220144	0,994091
DBO	10	143	0,379914	0,953715
Col Tot	10	121	0,893188	0,541763
Col Fec	10	121	0,922193	0,515388



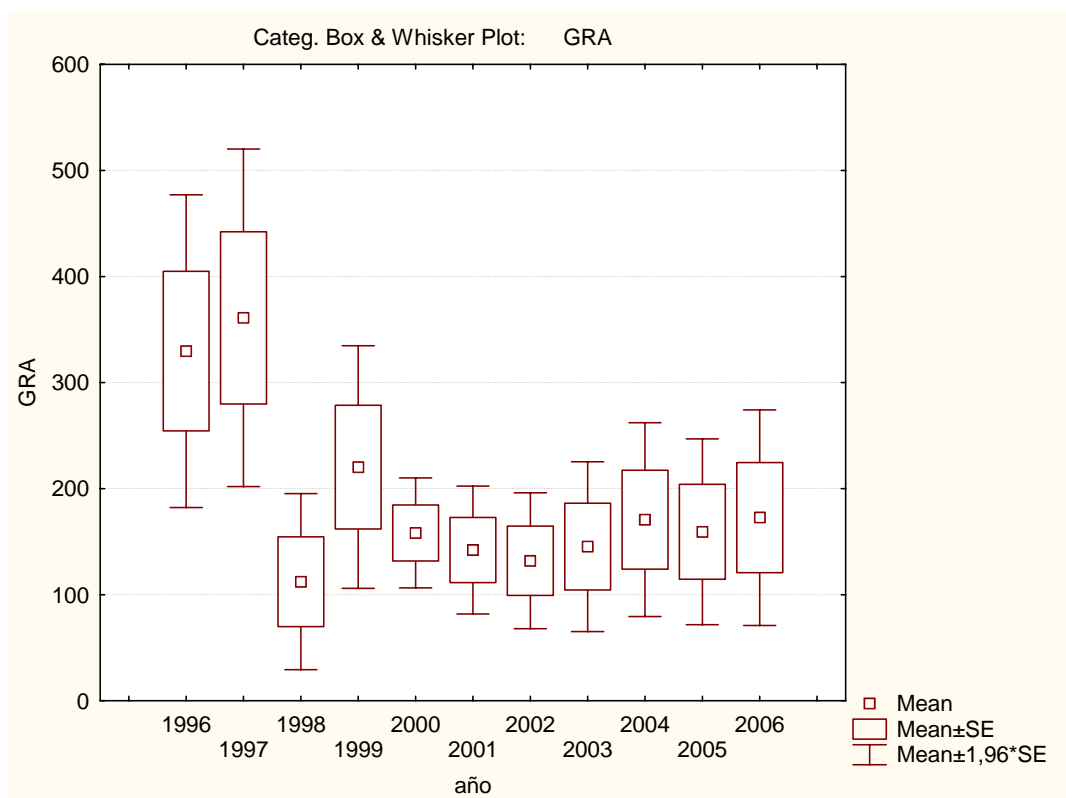
**Gráfica 37.** Temperatura en °C entre los años 1996 a 2006

En la gráfica 37 se observa una tendencia hacia la disminución de la temperatura del agua, lo cual no concuerda con la temperatura ambiental como se puede apreciar en la figura 47 en anexos, en la cual se observa que la temperatura ambiental va en aumento, en el período 1996 a 2006. La diferencia se puede deber a que el agua no presenta cambios bruscos en la temperatura como en el aire. La principal razón es que el caudal de los ríos se ha aumentan, por la precipitación pluvial, como se puede apreciar en la figura

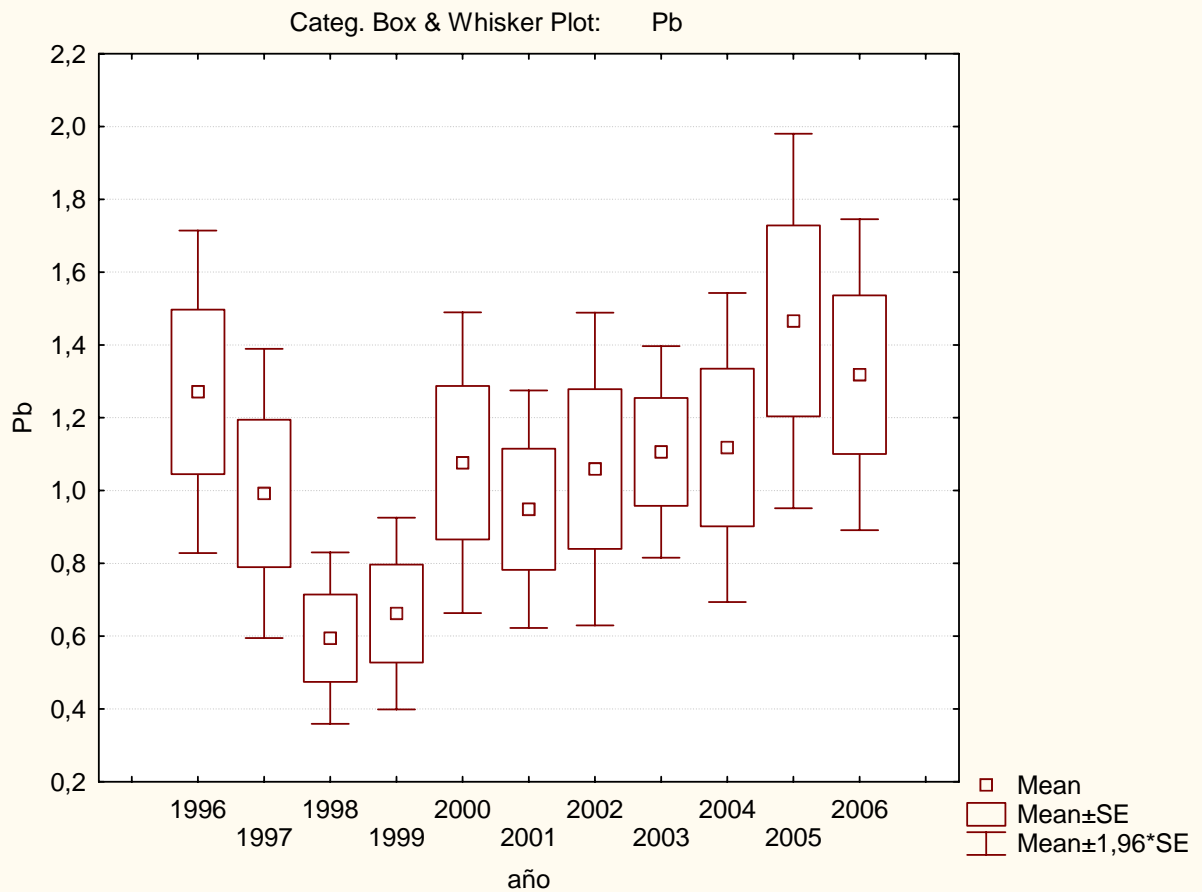


48, en la que se presentan los valores de la precipitación pluvial media en mm desde los años 1996 a 2006.

Las grasas y aceites, presentan una tendencia a disminuir, lo cual se puede observar en la figura 38, manteniéndose por debajo de los valores iniciales requeridos por el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, de la República de Guatemala, capítulo 20. Lo cual puede indicar que los restos alimenticios o de origen mineral que contienen grasas han disminuido, por el factor de dilución causado por el aumento de la precipitación pluvia durante el período 1996 a 2006, lo que se puede comprobar al observar la figura 48 en los anexos.

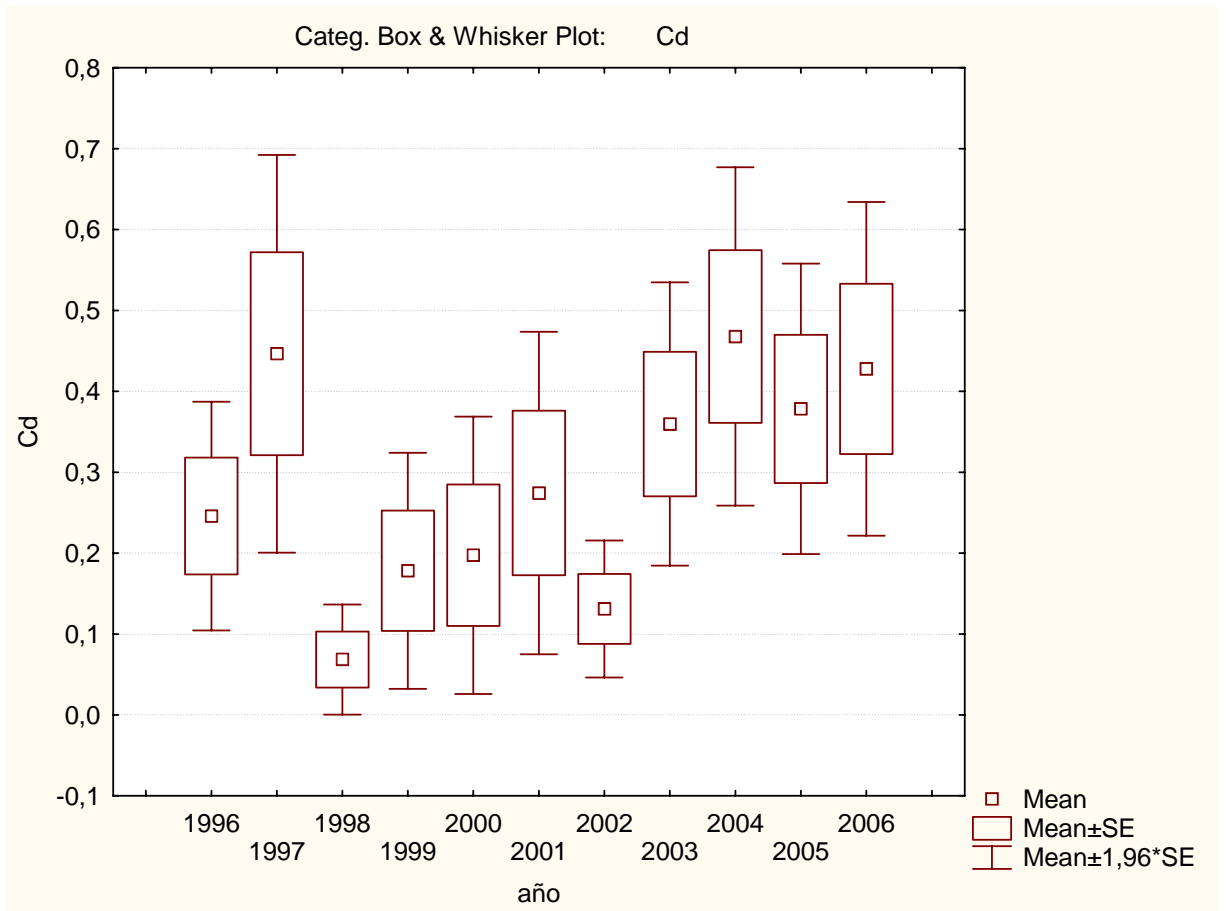


**Figura 38.** Grasas y Aceites entre los años 1996 a 2006.

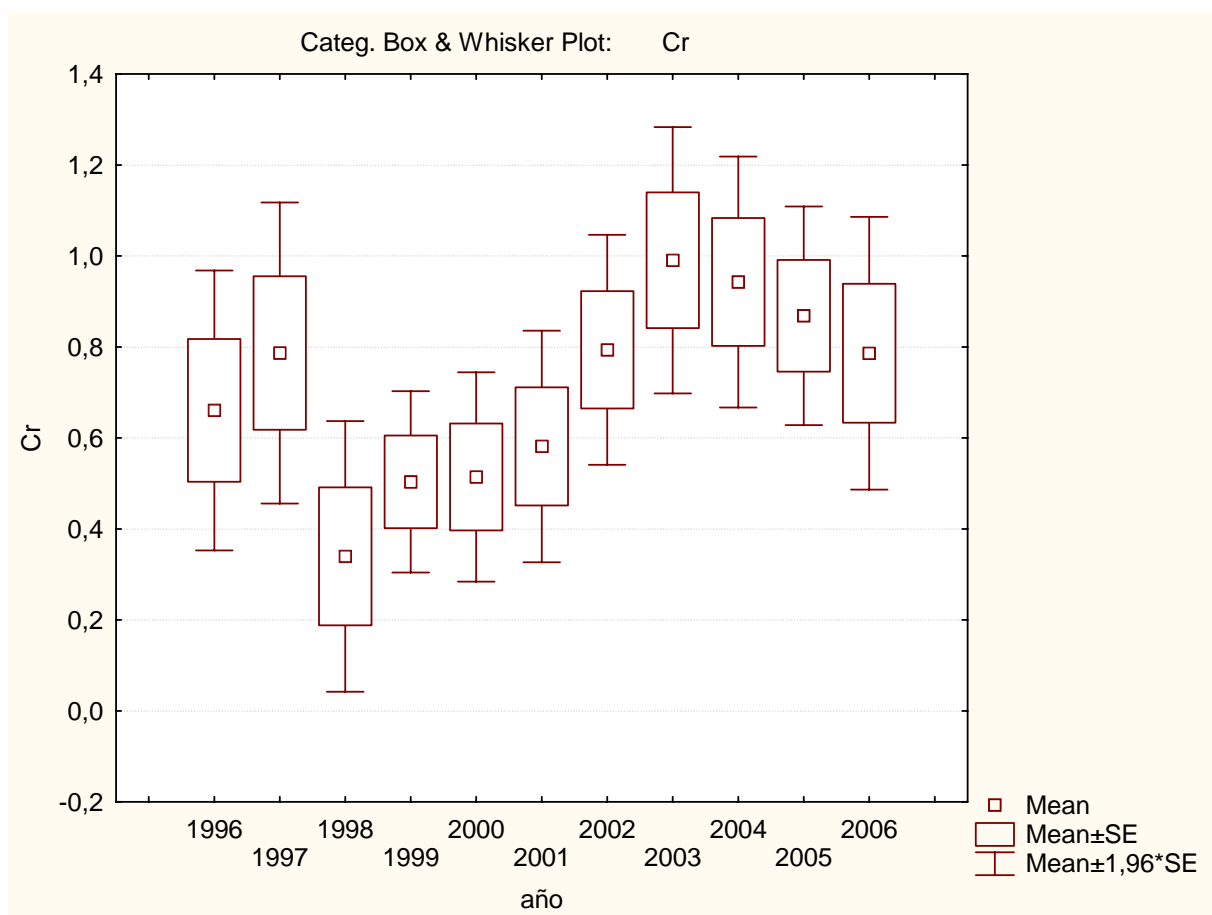


**Figura 39.** Plomo entre los años 1996 a 2006

Por otro lado los metales pesados como el plomo (Pb), cadmio (Cd) y cromo (Cr), figuras 39, 40 y 41 respectivamente, presentan una tendencia al aumento de sus concentraciones en el caudal del Río Villalobos, lo cual se debe al arrastre de sedimentos producidos por el aumento de las lluvias, lo que se puede apreciar en la figura 48 de los anexos, en donde se presenta la precipitación pluvial media en milímetros desde los años 1996 a 2006, en la que se observa el aumento de las lluvias desde el año 2003, manteniendo una tendencia al aumento de las mismas.



**Figura 40.** Cadmio en mg/l entre los años 1996 a 2006

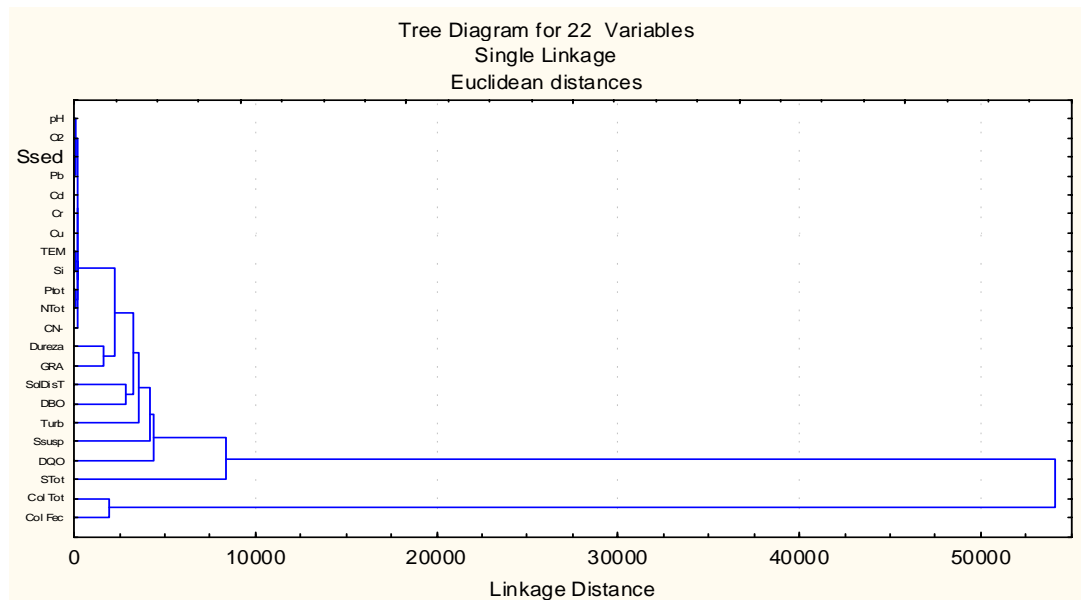


**Gráfica 41.** Cromo en mg/l entre los años 1996 a 2006.

#### **4.4. Análisis Agrupado (Cluster)**

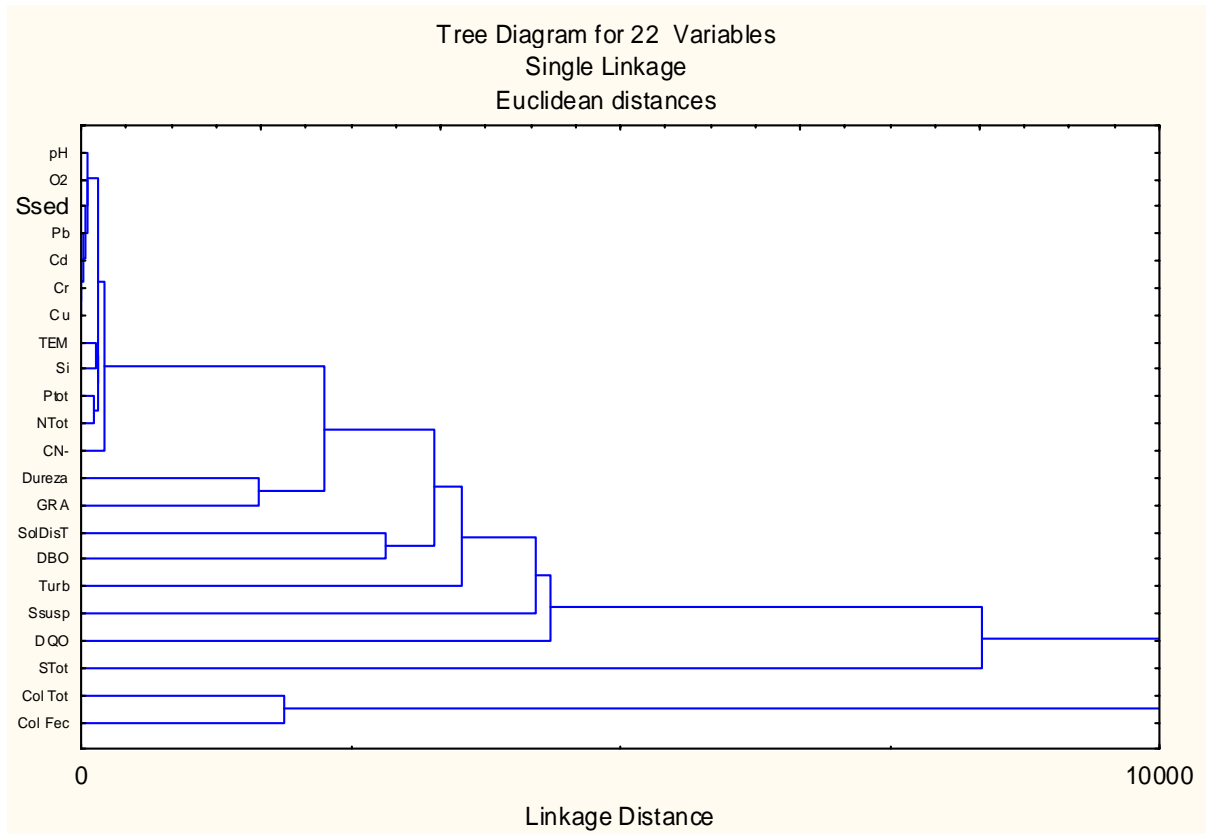
El análisis agrupado se conoce como análisis de Cluster, el cual ayuda a comprender la relación que existe entre las diferentes variables evaluadas en la presente investigación.

A continuación se presenta el resultado del análisis de Cluster de todas las variables (figura 42), en donde se observa que todos los parámetros se encuentran altamente relacionados, excepto los coliformes totales y fecales los cuales debido a la dimensional que es Número Más Probable en 100 ml (NMP/100 ml) la cual no tiene relación con la mayoría de parámetros cuya dimensional es en miligramos por litro (mg/l), excepto la temperatura que se reporta en °C y el pH que no tiene dimensional.



**Figura 42.** Resultados del análisis de Cluster para las 22 variables estudiadas

Los parámetros que presentan mayor relación son el pH, los Sólidos sedimentables (Ssed), los metales pesados: cromo (Cr), cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu), la temperatura y los nutrientes (Nitrógeno total, y Fósforo total). Esto se debe a la naturaleza de las dimensionales en las cuales se reportan estos resultados, lo cual se puede observar en la Figura 43.



**Figura 43.** Análisis de Cluster de todas las variables, con el eje X reducido hasta 10000

Al observar con mayor aumento las uniones que presenta el Cluster de los 22 parámetros analizados (figura 43), se puede comprobar la alta asociación que tienen los parámetros siguientes: pH, Oxígeno disuelto ( $O_2$ ), Sólidos sedimentables (Ssed) y la temperatura (TEM), lo cual se debe a que los mismo fueron determinados con una sonda multiparamétrica, indicando que la confiabilidad de la toma de muestras.

Los parámetros que se encuentran más separados son los relacionados con la determinación de Coliformes totales y fecales, los cuales presentan dimensionales totalmente diferente de los otros parámetros evaluados.

Los resultados de los Coliformes a pesar de que presentan diferente dimensional con respecto a la mayoría de parámetros, sí demuestran tener relación con los parámetros como la DBO y la DQO, los que determinan el consumo de oxígeno por los microorganismos que se encuentran en el agua y por la materia orgánica biodegradable del agua.

Otros parámetros que presentan una distancia muy cercana en cuando al análisis de Cluster, son los nutrientes, entre los que se encuentran el Nitrógeno Total y el Fósforo Total, con otros contaminantes como el cianuro (CN) y el silicio (Si), lo cual se puede deber a que dichos contaminantes son descargados al mismo tiempo o que pueden estar acompañados, es decir que no se interfieren unos con otros.

Por último los metales pesados, como el cromo, cadmio, plomo y cobre, presentan una agrupación bastante fuerte, lo cual se debe al origen de los mismo, que puede ser la contaminación industrial principalmente



#### **4.5. Análisis Factorial**

Para la evaluación de los resultados, utilizando el Análisis Factorial, se utilizó, el método de Componentes principales con rotación Varimax. Aplicándose a todas las variables desde el pH hasta el DBO, eliminándose aquellas como los Coliformes Fecales, Coliformes totales y cianuro (CN) porque ser atípicas o no tener relación con todas las demás variables, lo cual se demostró con el análisis de Cluster.

Luego de eliminar las variables que no tenían relación se eligieron cuatro factores, los cuales se describen a continuación:

El factor 1, representa la carga inorgánica del agua, se puede observar que los compuestos que tienen una alta relación con éste factor son: los sólidos sedimentables (Ssed), los sólidos totales (Stot) y la dureza, los cuales se relación con la extracción de roca calcárea y el movimiento de los suelos para la construcción, debido a que la cuenca del Río Villalobos se encuentra en un área urbana en donde en la actualidad hay un aumento de construcciones de viviendas. Este factor tiene una relación inversa con el oxígeno disuelto el cual disminuye cuando este factor aumenta, provocado por el enturbiamiento del agua, disminuyendo la posibilidad de la fotosíntesis para el aumento del oxígeno en el mismo.

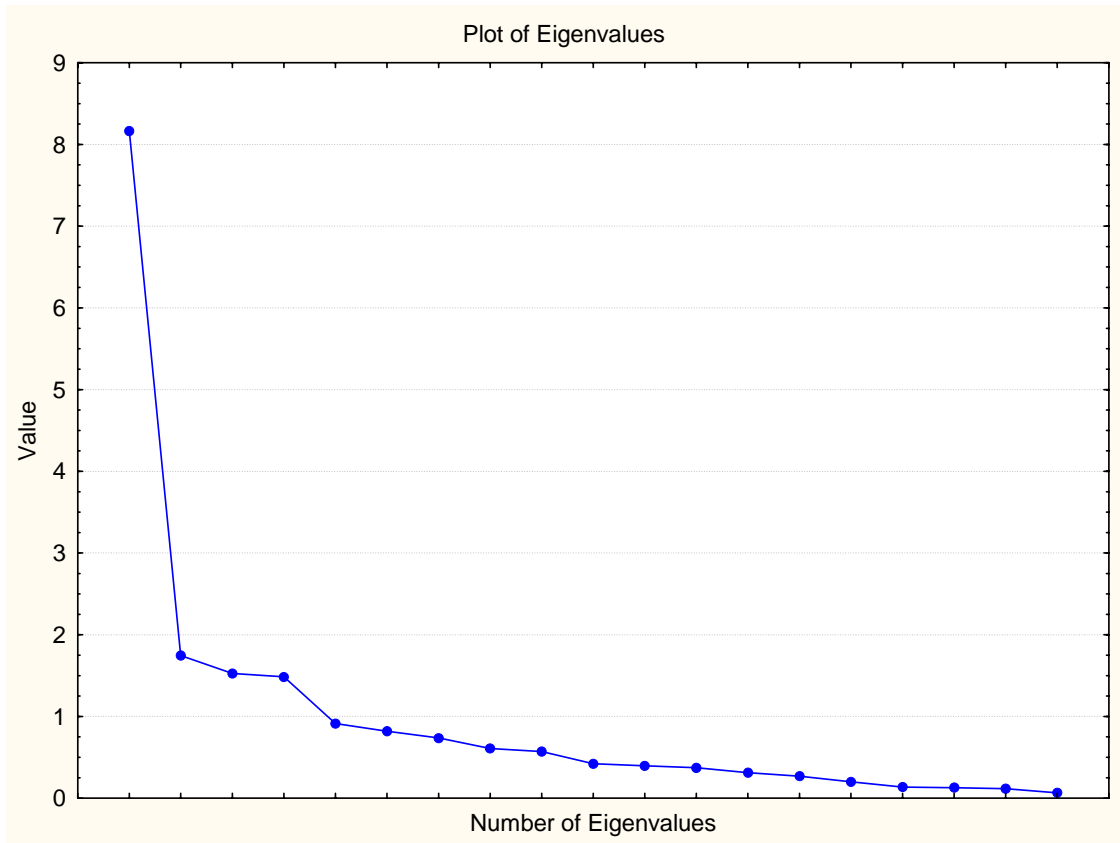
El factor 2 es representado por el pH, el cual tiene una relación inversa, con la dureza, turbidez (Turb), fósforo total (Ptot), nitrógeno total (Ntot), grasas y aceites( GRA), cromo (Cr) y silicio (Si). Al existir una concentración alta de estos compuestos se favorece al aumento de las poblaciones de microorganismos que consumen el O<sub>2</sub>, el cual al consumirse, produce disminución del pH.

El factor 3, representa a los metales pesados, plomo (Pb), cadmio (Cd) y con el cromo (Cr). Los cuales demuestran tener una relación negativa con el oxígeno disuelto, debido a que son compuestos ecotóxicos, pueden interrumpir el metabolismo del oxígeno.

Cuando los metales pesados se aumentan, hay un aumento de la Demanda Química del Oxígeno (DQO), por el consumo del oxígeno que tienen estos compuestos químicos en las reacciones de oxidación-reducción en la cual el oxígeno es un elemento importante para que se den estas reacciones químicas.

El factor 4, es el de los nutrientes, encontrándose una alta relación entre el Fósforo total (P<sub>tot</sub>) y el Nitrógeno total (N<sub>tot</sub>), estos dos compuestos químicos inorgánicos, son la base fundamental de la formación de biomoléculas como son las proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y grasas, las cuales contribuyen al mantenimiento de la vida. El Fósforo es considerado el reactivo limitante ya que si el mismo no se encuentra no hay energía formada por el ATP. Hay una relación negativa con el oxígeno porque al aumentarse estos nutrientes se aumenta la producción de fitoplancton el cual durante el día produce altas concentraciones de oxígeno pero durante la noche las consume, lo cual se puede comprobar con el aumento de la DBO.

Los cuatro factores se interrelacionaron entre sí, obteniéndose la tabla 12, donde se presentan los autovalores. En esta tabla se recoge para cada factor la variabilidad que explica el porcentaje de la varianza del sistema. También recoge la variabilidad que acumulan, es decir el sistema de los cuatro factores queda explicado en un 68.02 % con esos cuatro factores.



**Figura 44.** Gráfica de Sedimentación de los autovalores (eigenvalue)

**Tabla 12.** Valores de los factores obtenidos, con autovalor, mayor de 1. En color rojo se marcan las variables que son significativas para cada factor

Variables	Factores			
	Factor 1 (Carga inorgánica)	Factor 2 (pH)	Factor 3 (Metales pesados)	Factor 4 (Nutrientes)
pH	0,022050	0,868264	0,074382	0,059783
O <sub>2</sub>	-0,3707914	-0,167839	-0,309294	-0,0628853
TEM	0,196282	0,591301	0,136081	-0,089177
Sol dis T	0,264867	0,273532	0,152181	0,672987
Ssed	0,797030	0,202355	0,077306	0,182028
Ssusp	0,651930	0,350558	0,154981	0,367156
STotal	0,753164	0,298051	0,116259	0,306907
Dureza	0,759338	-0,298291	0,221073	0,011866
Turbidez	0,576011	-0,316506	0,396231	0,351103
P total	0,139008	-0,115220	0,172573	0,847882
N total	0,121597	-0,045926	0,207626	0,879794
GRA	0,639610	-0,293491	0,289626	0,282439
Pb	0,086330	0,105777	0,783637	0,271112
Cd	0,149821	0,073486	0,742892	0,131768
Cr	0,163479	-0,007496	0,717375	0,319540
Cu	0,406569	0,086327	0,635439	0,055300
Si	0,565802	-0,015082	0,227053	0,403189
DQO	0,584423	0,154059	0,069638	0,611120
DBO	0,575074	0,088434	0,088743	0,656389
Expl. Var	4,440181	1,805735	2,697693	3,981055
Prp. Total	0,233694	0,095039	0,141984	0,209529

La mayor diferencia en cuanto a correlación se observa entre el factor 1, el cual se refiere a la carga sedimentable. Entre el factor 2 y 3 hay menos diferencias, por que presentan efectos similares y por último el factor 4 presenta una mejor continuidad.

**Tabla 13.** Autovalor (eigenvalues) para cuatro factores

Factor	Componentes principales			
	Eigenvalue	% Total varianza	Eigenvalue acumulado	% Acumulado
1	8,165159	42,97452	8,16516	42,97452
2	1,747261	9,19611	9,91242	52,17063
3	1,526781	8,03569	11,43920	60,20632
4	1,485461	7,81822	12,92466	68,02454

La tabla 13, indica los valores de eigenvalue (autovalores) en la que aparecen los cuatro factores seleccionados anteriormente. Se recoge para cada uno la variabilidad que acumulan, es decir el sistema con los cuatro factores queda explicado en un 68.02 % para esos cuatro factores.

A continuación se presenta la gráfica de sedimentación figura 44, el cual sirve para determinar el número óptimo de factores. Consiste simplemente en la representación gráfica de los autovalores.

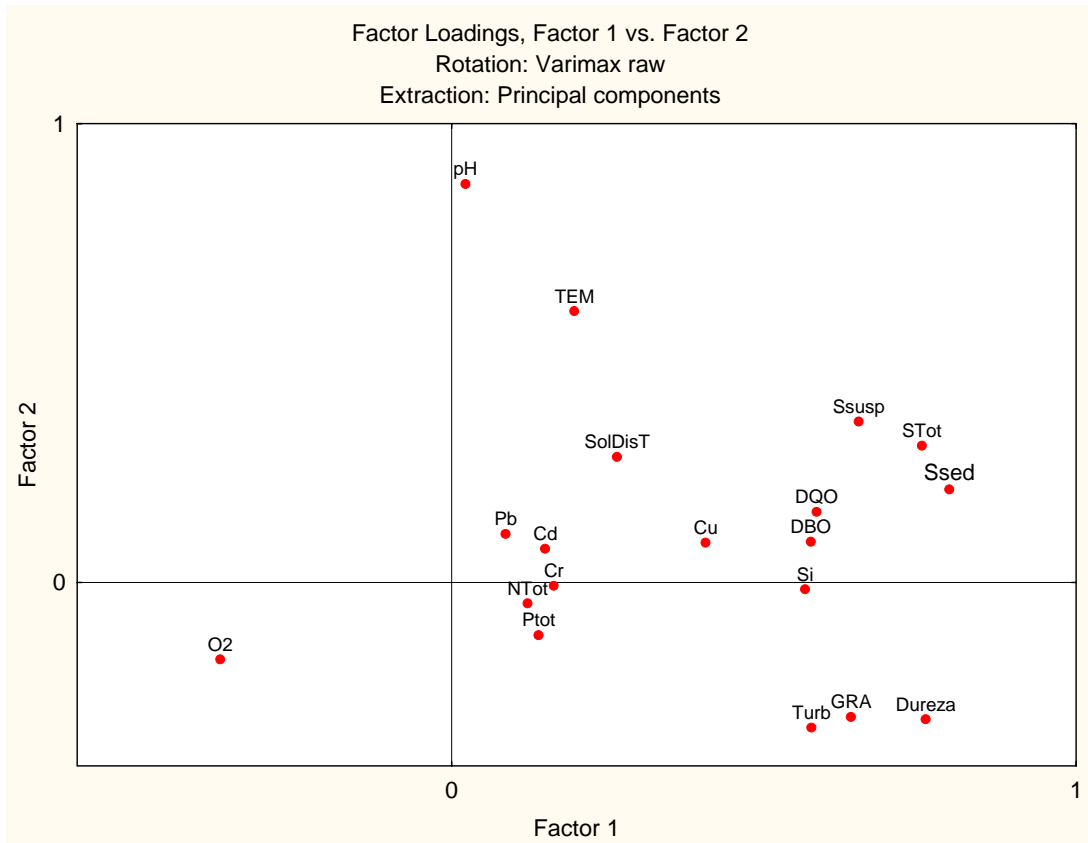
Un autovalor indica la cantidad de varianza explicada por una componente principal. Tanto la tabla de porcentajes de varianza explicada como el gráfico de sedimentación, ofrecen los autovalores ordenados de mayor a menor: el primer autovalor es el mayor de los posibles, el segundo autovalor es el segundo mayor y así sucesivamente. Si un autovalor se aproxima a cero, eso significa que el factor correspondiente a ese autovalor es incapaz de explicar una cantidad relevante de la varianza total. Por tanto un factor al que corresponde un autovalor próximo a cero se considera un factor residual y carente de sentido en el análisis.

En la figura 44 y la tabla 13, se observa que el factor que presenta un mayor autovalor es el Factor 1, el cual se relaciona con la carga inorgánica del agua,

lo que indica que debido a la alta concentración de materia inorgánica, la mayoría de parámetros se ven afectados aumentándose los compuestos químicos dañinos a la calidad del agua y disminuidos los parámetros que indican buena calidad del agua. Demostrándose con esto que el agua del Río Villalobos presentan una tendencia a aumentar la contaminación del mismo.

Al observar la figura 45, en la que se representa el factor F1 (carga inorgánica) frente al factor F2 (pH), el gráfico demuestra una clara separación entre las variables relacionadas con la carga inorgánica y el pH.

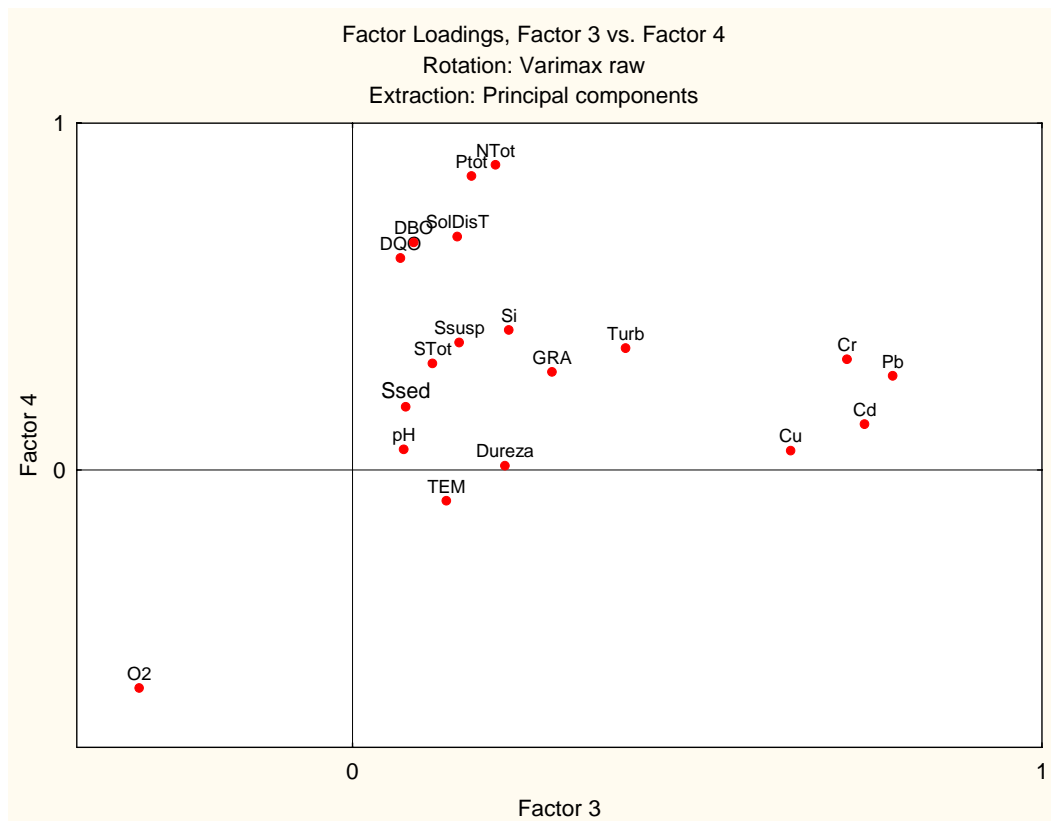
Cuando la carga inorgánica se aumenta, los microorganismos como las bacterias, por medio del metabolismo pueden consumir el oxígeno disuelto y aumentar el dióxido de carbono en el agua, produciendo con esto una disminución en el pH.



**Figura 45.** Rotación Varimax, entre el Factor 1 y el Factor 2

A continuación se presenta la figura 46, en la que se representa la rotación Varimax, entre el factor 3 ( Metales pesados) y el factor 4 (Nutrientes ), demostrándose cómo las variables, que representan estos factores se encuentran altamente relacionadas, debido a que se encuentran atravesadas por el eje que representa dicho factor.

Las variables que representan dichos factores se observan íntimamente relaciones ya que su autovalor se encuentra arriba de 1. El parámetro que se relaciona inversamente con estos factores es el Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) el cual se observa abajo del eje del factor, demostrándose que cuando se aumentan los contaminantes como los metales pesados y los nutrientes, el oxígeno disminuye.



**Figura 46.** Rotación Varimax entre Factor 3 y Factor 4



## CONCLUSIONES

1. Con la presente investigación se puede comprobar que el Río Villalobos, ha ido aumentando la carga de contaminantes físicos, químicos y bacteriológicos hacia el Lago de Amatitlán, con lo cual se acepta la hipótesis planteada.
2. El valor medio de la mayoría de los parámetros de calidad del agua, efectuados en diferentes puntos del Río Villalobos, se encuentran dentro de los valores aceptables para el desarrollo de la vida, pero sobrepasan los límites máximos permisibles para las aguas potables y por debajo de los límites para aguas residuales, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Artículo 20, excepto los Coliformes fecales que sobrepasan estos valores.
3. De los veintidós parámetros analizados solamente el cianuro (CN-) presentó menos variabilidad de las medias anuales de las determinaciones durante los catorce años, las cuales se encuentran bien correlacionadas con valores similares, no siendo así en el punto 6 (Río Pansalic) en el que a pesar que los LMP del CN son aceptables para aguas residuales, se encuentran industrias, que pueden estar iniciando a contaminar el agua del río con este compuesto químico.
4. Los ríos que presentan las mejores condiciones de calidad del agua son los que poseen sedimentadores dentro de su cause, los que disminuyen la mayoría de contaminantes que son acarreados por los diferentes afluentes del río. No así para los puntos que son la entrada del Río Villalobos al Lago de Amatitlán y el Zanjón La Palín, que son los puntos que presentaron los valores más altos de contaminantes.
5. La evolución de la tendencia de la varianza de los parámetros de calidad del agua durante los años (1996 a 2006), se observa que las grasas y aceites (GRA), tienden a disminuir por el factor de dilución producido por el aumento de la precipitación pluvial en los últimos años; por el contrario los

metales pesados como el Pb, Cd y Cr, presentan una tendencia al aumento de sus concentración en el Río Villalobos, por el arrastre que la escorrentía produce causado por las lluvias que acarrearán estos contaminantes al río.

6. Los parámetros que presentan una relación de agrupación más cercana son: el pH, el oxígeno disuelto, los sólidos sedimentables, los metales pesados como el plomo , cadmio , cromo , cobre, temperatura, silicio, fósforo total , nitrógeno total y el cianuro.
7. Las variables fundamentales o factores subyacentes que explican de mejor manera la configuración de los veintidós parámetros efectuados en catorce puntos de muestreo, durante once años, son: la carga inorgánica, representada por los sólidos sedimentables, los sólidos totales y la dureza; los siguientes factores fueron, el pH, los metales pesados y los nutrientes.
8. El factor más influyente de los cuatro es el primer factor, el cual representa la carga inorgánica, en el que la mayoría de parámetros de calidad del agua, se aumentan cuando este factor aumenta, deteriorando la calidad del agua del Río Villalobos y por ende del Lago de Amatitlán.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar con más detalle la funcionalidad de los sedimentadores, ya que los puntos en donde se encuentran los mismos presentaron las mejores características de calidad del agua.
2. Es necesario investigar tanto cualitativa como cuantitativamente los organismos bentónicos que se encuentran en el lecho del río para poder utilizarlos como un índice de la calidad biológica del agua y así determinar el daño que la contaminación del agua ha producido en el ecosistema.
3. Realizar estudios de todos los análisis de calidad del agua, en el sedimento del Río Villalobos, para comprobar si éstos se están acumulando en el mismo.
4. Cuando se realizan determinaciones de calidad del agua en los ríos, es necesario evaluar el caudal de los mismos para poder interrelacionar la contaminación con el volumen del agua.
5. Realizar campañas de divulgación de los diferentes estudios que realiza AMSA, para que todas las personas se enteren de la importancia que se debe tener con el medio ambiente, para evitar que la contaminación y el deterioro del Lago de Amatlán se siga dando.

## BIBLIOGRAFIA

- APHA (American Public Health Association, US). 1995. Standard Methods for the examination for the water and wastewater. 19a ed. Washington, APHA.
- AMSA (Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del Lago de Amatitlán, GT). 2004. La cuenca y el Lago de Amatitlán. Guatemala, JADE. p. 40.
- AMSA (Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del Lago de Amatitlán, GT). 2007. Revista Realidad. Guatemala, AMSA. p. 50
- Archivo Latinoamericano de Nutrición (en línea). 2003. Alan 53 (1). Consultado 10 mar 2006. Disponible en [http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttx&pid=S004](http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttx&pid=S004)
- Basterrechea Díaz, M. El Lago de Amatitlán: década de estudios limnológicos 1985-1995. 1997. Guatemala, Academia de Ciencias Medicas, Físicas y Naturales de Guatemala. p. 41.
- Beltrán Paiz, AE. 1987. Determinación de los niveles fluctuantes de los nutrientes: amonio, nitrito y ortofosfato, para la cuantificación del grado de avance de eutroficación del Lago de Amatitlán. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 104 p.
- Best, Joel. (2001) Damned Lies and Statistics: Untangling numbers from the Media, Politicians, and activities. University of California Press
- Bol Mendoza, HA. 2004. Impacto por nutrientes de las aguas residuales vertidas en la cuenca del Río dulce y Lago de Izabal. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 60 p.
- CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana). 1993. Normas de calidad del agua para consumo humano. San José Costa Rica, CAPRE.
- Cubillos, A. 2006. Calidad del agua y control de polución. Venezuela, CEDIAT. 150 p.

- Curtis, H; Barnes, N. 2006. Invitación a la biología. Madrid, Editorial MédicaPanamericana.
- Custodio, E; Llamas, M., 2001. Hidrología subterránea. 2ª ed. Barcelona, Omega. t. 1-2.
- Custodio, E. 1984. Calidad del agua subterránea. Barcelona, Omega. t. 2.
- Derisio, JC. 2002. Introducao ao controle de poluicao ambiental. Primera edición. Sao Paulo, CETESB.
- Desrosieres, Alain (2004). The politics of large numbers: A history of Statistical Reasoning, trans. Camille Naish, Harvard University Press. ISBN 0-674-68932-1
- deGUATE.com, GT. 2005. Valoración económica del Lago de Amatitlán (en línea). Guatemala, deGUATE.com. Consultado 4 Nov. 2007. Disponible en [http://www.deguate.com/geografia/article\\_2281.shtml](http://www.deguate.com/geografia/article_2281.shtml).
- Daniel, Wayne. (1987). Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Limusa. México. 667 p.
- Duffus, JH. 2002. Heavy metals -a meaningless term-. Pure Appl. Chem. 74 (5): 793-807.
- EPA, US.1994. Water quality criteria summary concentration. U.S. Enviromental Protection Agency.
- Elsevier, (2001). Environmental analytical chemistry. Amsterdan
- Esquivel López, DA. 2006. Determinación de la presencia de metales pesados en el agua de origen termal del Lago de Amatitlán y zonas aledañas. Tesis Ing. 77 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2006. Soil heavy metals (en línea). Consultado 20 mar. 2008). Disponible en [http://www.fao.org/gtos/tems/variable\\_Show\\_jsp?VARIABLE\\_ID=43](http://www.fao.org/gtos/tems/variable_Show_jsp?VARIABLE_ID=43)
- Fergusson, JF. 2000. The heavy elments: chemistry, enviromental i mpact and health effects. Estados Unidos, Pergamon Press.

- Figueres, Salvador M. (2001) Análisis de Conglomerados o Cluster (en línea) 5campos.org.estadística <http://www.5campus.org/leccion/cluster>. Consultado 11 abril 2008.
- García García, HO. 1997. Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr<sup>+6</sup>) y sustancias tóxicas (PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sup>2-</sup>, y CN<sup>-</sup>) por métodos espectrofotométricos en tejido muscular de Cichlasoma managuense (Gunter) guapote o pez tipo tigre, en el Lago de Amatitlán. Tesis Lic. Biol. Guatemala, USAC. 62 p.
- Fuentes, SL. 2006. Informe final del Ejercicio Profesional Supervisado, realizado en la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán -AMSA-. Tesis Lic. Acuicultura. Guatemala, USAC. 171 p.
- Gutierrez Ramirez, HR. 1994. Crecimiento urbano y su efecto sobre el uso del suelo y el área boscosa en la subcuenca del Río Villalobos, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 75 p.
- Harte, J; Holden, C; Scheneider, R; Shirey, C. 2001. Toxics A to Z: a guide to everyday pollution hazards. United States, University of California Press.
- Hawkes, SJ. 2007. What is a heavy metal. Journal Chem. Educ. 74 (1374):512-536p.
- Horan, N. 2003. Faecal indicator organisms. In Mara, D; Horan, N. eds. The handbook of water and wastewater microbiology. London, Academic Press. p. 105-112.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 2000a. Mapa de Amatitlán, hoja cartográfica No. 2059 II. Guatemala, IGN. Esc. 1:50,000.
- \_\_\_\_\_. 2000b. Mapa de Nueva Santa Rosa, hoja cartográfica No. 2159 III. Guatemala, IGN. Esc. 1:50,000.
- \_\_\_\_\_. 2000c. Mapa de Ciudad de Guatemala, hoja cartográfica No. 2059 I. Guatemala, IGN. Esc. 1:50,000.

- \_\_\_\_\_ . 2000d. Mapa de San José Pinula, hoja cartográfica No. 2159 IV. Guatemala, IGN. Esc. 1:50,000.
- Juarez Pernillo, JR. 2006. Determinación de metales pesados y surfactantes alquilbencénicos en sedimentos del Lago de Petén Itzá. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 97 p.
- Kiely, G. 2000. Ingeniería ambiental. Madrid: Interamericana.
- Krasovsky, GN. Et. Al. 2006. Toxic and gonadotropic effects of camium and boron relative to standars for these substaces in drinking water: enviromental health perspectives. s.n.t.
- Margalef, R. 1983. Limnología. Barcelona, Omega. 1010 p.
- Kestler, D. 1997. Determinación cuantitativa de metales pesados en peces comestibles del Lago de Amatitlán, por reflexión total de rayos X. Tesis Ing. Químico. Guatemala, USAC. 49 p.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2005. Reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores: Acuerdo Gubernativo No. 66-2005. Guatemala : Congreso de la República.
- Mazariegos Barrios, L. 1995. Análisis de reflexión total de rayos X de As, Cu, Fe, Pb, en aguas de los Ríos “Helado y Selegua” procedentes de los residuos del proceso de explotación de estibnita de las minas de San Ildenfosno Ixtahuacan, Huehuetenango. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 60 p.
- Mendiguchía Carolina, MC; Galindo Riaño, D. 2004. Using chemometric tools to assess anthropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain) (en línea). Estados Unidos, ScienceDirect. Consultado 4 nov. 2007. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>
- Odum, E. 1986. Fundamentos de la ecología. México: Interamericana. 422 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 2004. Serie de Informes técnicos No. 16: evaluación de diversos aditivos alimentario y de los contaminantes Mercurio, plomo y cadmio. Estados Unidos, Comité Mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios.

- OPS (Organización Panamericana de la Salud, US), 2003. Guías para la calidad del agua potable. Washington, OPS. 343 p. (v. 2, no. 56, Criterios relativos a la salud y otra información de base).
- Orozco, C; Serrano, A; Gonzáles, M; Rodríguez, F; Alfayate, J. 2004. Contaminación ambiental: una visión desde la química. 2ª ed. Madrid.
- Paz Barranco, HI. 1983. Determinación del Nivel actual en el transporte y descargas del Lago de Amatitlán, del surfactante Alkin benceno, el cual degrada lentamente y proviene del uso creciente de detergentes sintéticos. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 68 p.
- 
- Pineda González, JR. 1981. Determinación de cobre, mercurio y plomo en aguas y sedimentos del Lago de Amatitlán. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 30 p.
- 
- Procuencia San Juan, 2004. Formulación de un programa de acciones estratégicas para la gestión integrada de los recursos hídricos y el desarrollo sostenible de la cuenca del Río San Juan y su zona costera (PROCUENCA SAN JUAN) : integración de estudios básicos. Nicaragua, editorial Universitario. 243 p.
- Rodas Arzet, AM. 2008. Estudio paliolimnológico del Lago Petén Itzá en la región sur occidente. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC.
- 
- Roesh, Rodrigo. 1998. Determinación de algunos metales ecotóxicos y hábitos alimenticios del caracol *Pomacea* sp. del Lago de Amatitlán. Tesis Lic. Acuicultura. Guatemala, USAC. 73 p.
- Roldán Pérez, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia, Editorial Universidad de Antioquía. 529 p.
- Tijims, Henk (2004). Understanding Probability. Changes rules in Everyday life. Cambridge University Press. ISBN 0-521-83329-9.
- 
- Skoog; Leary. 1994. Análisis instrumental. 4ª ed. Madrid, McGraw Hill.
- 
- Stern, GA; Macdonald, CR; Armstrong, D. 2004. Spatial trends and factors affecting variation of organochlorine contaminantes levels in Canadian Arctic Beluga (*Delphinapterus leucas*) (en linea). Estados



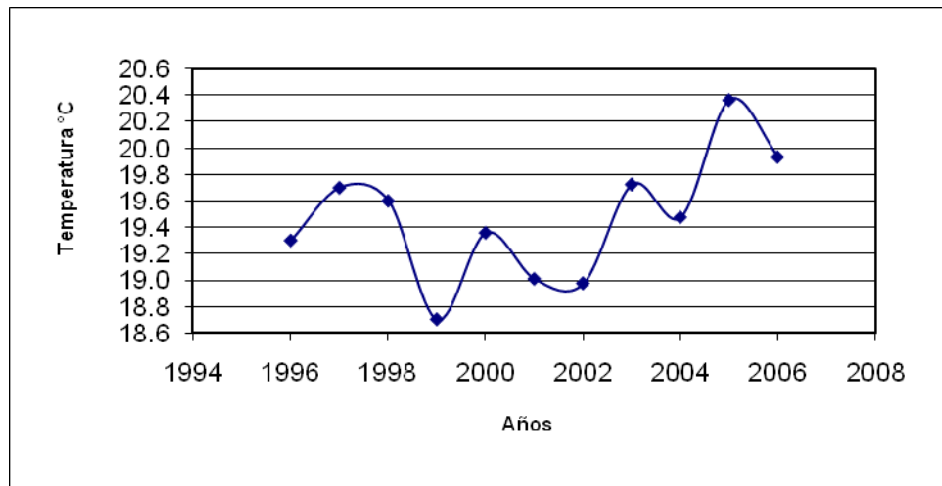
Unidos, ScienceDirect. Consultado 4 nov. 2007. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>

- Tetzaguic Car, CE. 2003. Sistematización de la información de calidad del agua del Lago de Amatitlán con parámetros que determinan su contaminación secuencial. Tesis Ma. Ing. Sanitaria. Guatemala, USAC. 62 p.
- Torres Valenzuela, RJ. 2003. Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y nutrientes en el agua del biotopo Chocón Machacas y parque nacional Río Dulce. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 104 p.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2000. Lagunas (en línea). México, UNAM. Consultado 20 mar. 2008. Disponible en <http://www.lztapalapa.uam.mx>.
- Valoración económica del Lago de Amatitlán, Noviembre 4. (2005). Disponible en [www.deguate.com/geografía/artículo 2281](http://www.deguate.com/geografía/artículo_2281).
- Wetzel, R. 2000. Limnología. Barcelona, Omega.

## ANEXO

**Tabla 15.** Resultados de valores medios anuales de temperatura del período 1996 a 2006 (INSIVUMEH)

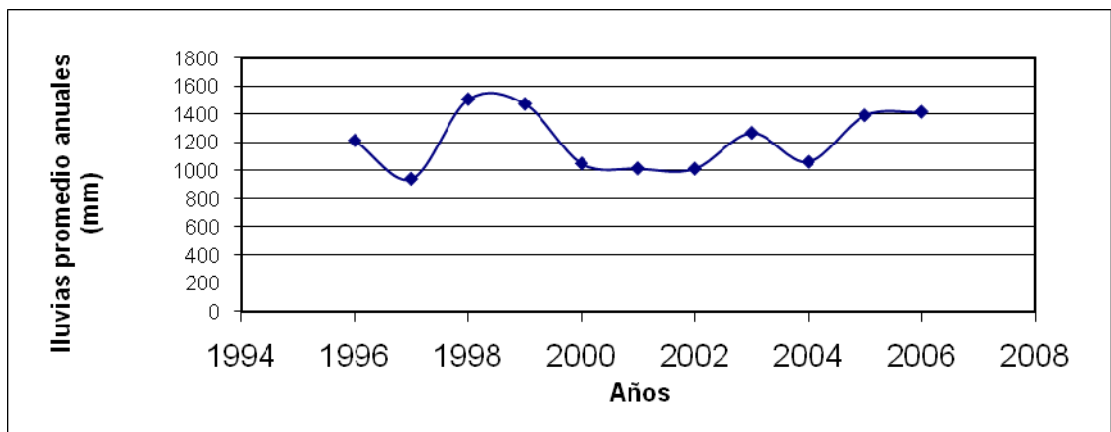
Año	T °C
1996	19.3
1997	19.7
1998	19.6
1999	18.7
2000	19.4
2001	19.0
2002	19.0
2003	19.7
2004	19.5
2005	20.4
2006	19.9



**Figura 47.** Tendencia de la temperatura desde los años 1996 a 2006 (INSIVUMEH)

**Tabla 16 . Resultados de Lluvias promedios anuales (INSIVUMEH)**

Años	mm
1996	1214
1997	940.7
1998	1508.5
1999	1475.3
2000	1049.2
2001	1014.5
2002	1012.4
2003	1268.5
2004	1060.6
2005	1392.8
2006	1417.7



**Figura 48. Precipitación pluvial media en mm desde los años 1996 a 2006**