

**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Cuantificación físico-química de la calidad del agua del río Molino, afluente
del lago de Amatitlán, Mixco, Guatemala**



Presentado por:

T. A. Dorian Rafael Minera Castro

Para otorgarle el título de:

Licenciado en Acuicultura

Guatemala, enero 2016

**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Cuantificación físico-química de la calidad del agua del río Molino, afluente
del lago de Amatitlán, Mixco, Guatemala**



Presentado por:

T. A. Dorian Rafael Minera Castro

Para otorgarle el título de:

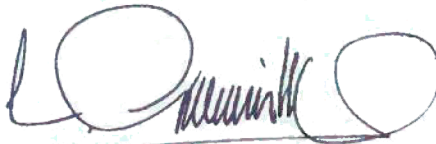
Licenciado en Acuicultura

Asesor: Ing. Walter Bardales

Guatemala, enero 2016

El M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle, Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA- después de conocer el dictamen favorable del M.Sc. Luis Francisco Franco Cabrera, Coordinador Académico, sobre el trabajo de graduación del estudiante universitario T.A. **Dorian Rafael Minera Castro** titulado “**Cuantificación físico-química de la calidad del agua del río Molino, afluente del lago de Amatitlán, Mixco, Guatemala**” da por este medio su aprobación a dicho trabajo. **IMPRIMASE.**

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle
DIRECTOR



Guatemala, enero 2016

/magda



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Coordinación Académica
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA-, después de conocer el dictamen del asesor M.Sc. Walter Arnoldo Bardales Espinoza, y la aprobación de la Encargada de EPS M.Sc. Irene Franco Arenales, al trabajo de graduación del estudiante universitaria **Dorian Rafael Minera Castro** “Cuantificación físico-química de la calidad del agua del río Molino, afluente del lago de Amatitlán, Mixco, Guatemala”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


M.Sc. Luis Francisco Franco Cabrera



Guatemala, enero 2016

**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente	M. Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle
Secretario	M. B.A. Allan Franco de León
Representante Docente	M. A. Olga Marina Sánchez Cardona M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Representante del Colegio de Médicos Veterinarios y Zootecnistas	M. Sc. Adrián Mauricio Castro López
Representante Estudiantil	Lic. Francisco Emanuel Polanco Vásquez
Representante Estudiantil	T. A. María José Mendoza Arzú

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser la casa de estudios profesionales que me brindó la oportunidad de una formación superior.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, por brindarme la oportunidad de forjarme como profesional a lo largo de la carrera.

A la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas -URHC- del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, por ofrecer la oportunidad de realizar mi EPS.

Al Laboratorio Nacional de Salud -LNS- por el apoyo brindado durante el desarrollo de la investigación para realizar el análisis de muestras.

DEDICATORIA

Ante todo dedico este espacio a Dios, por darme la oportunidad de llegar a culminar mis estudios profesionales.

A su vez le doy gracias a Dios, por brindarme tres padres ejemplares, mi padre Biológico que en paz descanse, mi madre que Dios la bendiga hoy y siempre y mi segundo padre Oscar Arturo Gálvez del Cid, que me ayudaron a lo largo de este camino de mi vida.

A José Víctor Minera Tobar (+) por ser un padre ejemplar, trabajador y dedicado a su familia, que me brindó amor en su corta vida.

A mi querida madre María Maura Castro Rodríguez, por darme la vida, la esperanza, la seguridad, el amor incondicional que me brinda a lo largo de mi vida, gracias madre hermosa por ser la gran persona que eres.

A Oscar A. Gálvez del Cid, por ser como mi segundo padre, por su amor incondicional que me demuestra con el diario vivir.

A mis hermanos, José Víctor, William Alberto y Oscar Arturo, por ser los mejores hermanos que uno pueda desear en la vida.

A mis sobrinos, José Víctor y Jorge Mauricio, por ser como mis hijos y una motivación extra en vida de seguir adelante.

A Irania, por ser una persona importante de mi vida, mi mujer, amiga, que siempre está conmigo en las buenas y en las malas.

A mis hijas, Amy Michelle y María Kamila, por ser la inspiración de mi vida, el motor que me impulsa a seguir adelante, las amo.

RESUMEN

La contaminación de los ríos en el departamento de Guatemala representa un problema de graves consecuencias. A lo largo de todo el país prevalece la contaminación del agua superficial y de aguas subterráneas poco profundas.

“Las aguas negras provenientes del sector doméstico y los flujos agrícolas, ocasionan la contaminación biológica del agua del 90% de los ríos del departamento. El tratamiento de las aguas negras es mínimo. Existen numerosas plantas para tratamiento de aguas negras pero muy pocas, o quizás ninguna está funcionando (Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán, AMSA 2007). Como resultado, solamente uno de los 15 ríos del departamento afluentes del lago de Amatitlán, no está contaminado aún”.

El lago de Amatitlán, al sur de la ciudad de Guatemala, recibe el 50 por ciento de las aguas negras de la ciudad de Guatemala a través del río Villalobos, por lo tanto está severamente contaminado. La microcuenca río Molino, afluente del lago de Amatitlán, está cargada de heces fecales provenientes de la urbanización aledaña a la microcuenca en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala.

Los análisis realizados demuestran que en época de estiaje, el río presentó los mayores índices de contaminación en cuanto a coliformes fecales y materia orgánica, representada en la demanda química de oxígeno. La deforestación en toda la cuenca que ocasiona la erosión se ve reflejada en los parámetros elevados e inestables de los sólidos en suspensión, color y materia flotante siempre presente. Los 20 parámetros de contaminación evaluados en la investigación demuestran que la mayor contaminación en el río Molino se debe en su mayoría a las descargas de aguas residuales de tipo ordinario (domésticas), y en segundo lugar las descargas de tipo especial (industriales) localizadas a lo largo de microcuenca, industrias como textileras, galvanizadoras, entre otras, que están localizadas en el municipio de Mixco, área de influencia de la cuenca.

ABSTRACT

Contamination of rivers in the department of Guatemala is a major problem. Through out the country prevails pollution of surface and shallow groundwater.

The wastewater from the domestic sector and agricultural flows cause biological contamination of water 90% of the rivers of the department. The treatment of sewage is minimal. There are numerous plants for sewage treatment but very few or perhaps none is working. (AMSA, 2007). As a result, only one of 15 tributaries of the rivers of the department Amatitlan Lake is not polluted yet.

Amatitlan Lake, south of Guatemala City, receives 50 percent of the sewage from the city of Guatemala through the Rio Villalobos therefore is severely polluted.

The maling River Microcuenca tributary of Lake Amatitlan, is loaded with fecal matter from near, by urbanization in the watershed in the town of Mixco, the second most populated the Department of Guatemala.

The analysis shows that in the non-rainy season the river had the highest rates of contamination in terms of fecal coliforms and organic matter, represented in The Chemical Oxygen Demand. Deforestation in the basin causing erosion is reflected in the parameters of high and volatile suspended solids, color and matter floating always present. The 20 pollution parameters evaluated in the research show that most pollution in the river Molino is mainly due to discharges of wastewater from the ordinary type (domestic), and second special type discharges (industrial) located at along the watershed, industries such as textile, among others are located in the municipality of Mixco, area of influence of the basin.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 Situación geográfica de la cuenca de Amatitlán	7
3.1.2 Características generales de la cuenca de Amatitlán	7
3.1.3 Geología y morfología	8
3.1.4 Flora y fauna	8
3.1.5 Clima	9
3.1.6 Temperatura	9
3.1.7 Erosión y azolvamiento	9
3.1.8 Erosión en el río Villalobos	10
3.1.9 Municipios con más influencia en la cuenca del lago de Amatitlán	10
3.1.10 Municipio de Guatemala	13
3.1.11 Municipio de Villa Nueva	14
3.1.12 Municipio de Villa Canales	14
3.1.13 Municipio de Amatitlán	14
3.1.14 Municipio de Santa Catarina Pinula	14
3.1.15 Municipio de San Miguel Petapa	14
3.1.16 Situación industrial	16
3.2 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006.	17
4. OBJETIVOS	22
5. METODOLOGÍA	23
6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
6.1 Caracterización de la calidad del agua del río Molino	28
6.2.1 Temperatura	30
6.2.2 Grasas y aceites	31
6.2.3 Sólidos suspendidos totales	32
6.2.4 Nitrógeno	33

6.2.5	Fósforo	33
6.2.6	Potencial de Hidrógeno (pH)	34
6.2.7	Metales pesados	35
6.2.8	Color	36
6.2.9	Coliformes fecales	36
6.2.10	Aforo del río Molino	37
7.	CONCLUSIONES	39
8.	RECOMENDACIONES	41
9.	BIBLIOGRAFÍA	42
10.	ANEXO	45

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Mapa de ubicación de la microcuenca río Molino	12
Figura No. 2. Temperatura	30
Figura No.3. Grasas y Aceites	31
Figura No. 4. Sólidos Suspendidos	32
Figuras No. 5. Nitrógeno	33
Figura No. 6. Fósforo	34
Figura No. 7. Metales Pesados	35

INDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1. Estimación de arrastre de sedimentos en el río Villalobos	10
Cuadro No. 2. Aldeas y colonias del municipio de Mixco	13
Cuadro No. 3. Área total y de influencia por municipios	15
Cuadro No. 4. Caracterización física de las microcuencas del lago de Amatitlán	16
Cuadro No.5. Límites Máximos Permisibles Acuerdo Gubernativo 236-2006	18
Cuadro No. 6. Métodos utilizados en el análisis de calidad de agua	25
Cuadro No. 7. Caracterización de la calidad de agua del río Molino	28
Cuadro No.8. Cuadro comparativo del río Molino vrs. Acuerdo Gubernativo 236-2006	29

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Mapa de ubicación de la microcuenca río Molino	12
Figura No. 2. Temperatura	30
Figura No.3. Grasas y Aceites	31
Figura No. 4. Sólidos Suspendidos	32
Figuras No. 5. Nitrógeno	33
Figura No. 6. Fósforo	34
Figura No. 7. Metales Pesados	35

INDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1. Estimación de arrastre de sedimentos en el río Villalobos	10
Cuadro No. 2. Aldeas y colonias del municipio de Mixco	13
Cuadro No. 3. Área total y de influencia por municipios	15
Cuadro No. 4. Caracterización física de las microcuencas del lago de Amatitlán	16
Cuadro No.5. Límites Máximos Permisibles Acuerdo Gubernativo 236-2006	18
Cuadro No. 6. Métodos utilizados en el análisis de calidad de agua	25
Cuadro No. 7. Caracterización de la calidad de agua del río Molino	28
Cuadro No.8. Cuadro comparativo del río Molino vrs. Acuerdo Gubernativo 236-2006	29

1. INTRODUCCIÓN

El departamento de Guatemala tiene una extensión territorial de 2,217.85 km² y sus municipios son: Guatemala, Santa Catarina Pínula, San José Pínula, San José del Golfo, Palencia, Chinautla, San Pedro Ayampuc, Mixco, San Pedro Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez, San Raymundo, Chuarrancho, Fraijanes, Amatitlán, Villa Nueva, Villa Canales y Petapa. El alto consumo de agua genera grandes cantidades de *aguas residuales* de origen doméstico, industrial y agrícola sin ningún tipo de tratamiento, las cuales son vertidas a los ríos más importantes que cruzan el área metropolitana de Guatemala y desembocando al lago de Amatitlán (AMSA, 2007).

El presente trabajo tiene como propósito dar a conocer los resultados de la investigación aplicada a la calidad del agua superficial del río Molino, a través de monitoreos realizados los meses de mayo, junio y octubre del 2009.

En la investigación se cuantificaron los 20 parámetros de calidad del agua en aplicación al “Reglamento de Las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de La Disposición De Lodos” (Acuerdo Gubernativo número 236-2006), del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Los análisis fueron realizados con el apoyo del Laboratorio Nacional de Salud “LNS” del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) y la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), a través del “Proyecto para el Desarrollo de Capacidades para la Conservación del Ambiente Acuático en el Área Metropolitana”.

Por ello, la importancia de caracterizar las aguas de cada una de las microcuencas o tributarios principales de la cuenca del lago de Amatitlán, en este caso el río Molino, para determinar la carga contaminante que aporta esta microcuenca de dicho lago, haciéndose necesaria la investigación, y realización de estudios de este tipo, que permitan generar datos representativos, que fomenten la formulación de leyes, normas, reglamentos, planes de manejo de cuencas, planes de contingencia, estrategias y medidas de mitigación para evitar el deterioro ambiental de nuestros recursos naturales, en especial de nuestros ríos, lagos y océanos.

Así mismo, fomentar el mejoramiento de las características de dichas aguas, y proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana, recuperar estos en proceso de eutrofización y promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

Ante esta problemática es necesario tomar acciones encaminadas al análisis y control de los diferentes parámetros según Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el Artículo 20, los límites máximos permisibles a cuerpos receptores; esto con la finalidad de aumentar la calidad del agua tratada y la calidad en la salud.

2. ANTECEDENTES

Según la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo -CCAD-, quienes muestrearon 100 empresas industriales ubicadas en la cuenca del lago de Amatitlán, cuyos efluentes fueron caracterizados mediante análisis de laboratorio durante el segundo semestre del año 2002, encontrándose que estaban vertiendo en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán más de 15 millones de metros cúbicos de aguas residuales, con casi 30,000 toneladas de DQO, cerca de 27,000 toneladas de sólidos totales y aproximadamente 8,000 toneladas de DBO por un año. En términos de población esa carga contaminante de DQO equivale a 1,304,532 personas.

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA), se creó con apoyo del Gobierno, su finalidad es ordenar el uso de los recursos y fortalecer las acciones de protección y rescate de la cuenca y del Lago de Amatitlán, contrarrestar y detener el deterioro de las sub-cuencas o afluentes del lago.

La contaminación intensa del río Villalobos se empezó a detectar desde 1978, cuando ya presentaba elevada polución por sólidos en suspensión, hedor fétido y concentraciones de plomo, fósforo, potasio, sodio y nitratos, así como excretas humanas, con presencia de coliformes fecales, provenientes de aguas negras y drenajes caseros (Cajas, 2002)

En el río Villalobos se descargan las aguas residuales del área metropolitana en un 60%, lo que demuestra el alto índice de contaminación que se genera hacia el lago de Amatitlán, es por eso que nos vemos en la necesidad de realizar investigaciones, que contribuyan al cumplimiento con las nuevas normativas o leyes del país, para establecer y determinar la contaminación ocasionada por las diferentes descargas de aguas residuales, sin un previo tratamiento, en este caso el río Molino, afluente del río Villalobos y objetivo de dicha investigación. Al unirse los ríos Molino y San Lucas forman el río Villalobos, afluente del lago de Amatitlán (Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y el lago de Amatitlán (AMSA, 2007).

La micro-cuenca río Molino constituye uno de los tributarios más importantes del río Villa Lobos, en cuanto a la carga de contaminantes se refiere, es la tercera en tamaño dentro de la

cuenca de Amatitlán y es el río más largo de toda la cuenca, Es importante mencionar que el río Molino contribuye con un caudal de 6.30% a la cuenca del lago de Amatitlán (AMSA, 2007).

Las descargas crudas van directamente a los arroyos locales, el 90% de las plantas de tratamiento de aguas residuales del departamento de Guatemala no funcionan (AMSA, 2007).

AMSA ha presentado el plan del Manejo Integrado de la Cuenca y del lago de Amatitlán, conocido como PLANDEAMAT. En éste se incluye el plan de Ordenamiento Territorial, con el propósito de balancear las áreas libres y las superpobladas y proveer a la población de un medio ambiente apropiado para la actividad humana.

El plan de control ambiental que AMSA ha desarrollado consiste en sistemas municipales de tratamiento de aguas servidas, mediante la implementación de sistemas de tratamientos de aguas residuales; sistema de control de aguas residuales; que incluye el monitoreo de la calidad del agua de los afluentes del lago de Amatitlán, así como el monitoreo de las descargas de aguas residuales industriales a través de un convenio de apoyo con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en el cual se monitorean las descargas para el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo. 236-2006. Sistemas de drenaje en las áreas urbanas y participación de la comunidad, con el proyecto de educación ambiental y concientización ciudadana dirigido a escuelas ubicadas en la cuenca de Amatitlán.

AMSA lleva a cabo monitoreos de la calidad del agua de los tributarios de la cuenca, entre ellos el río Molino, en el cual inició sus monitoreos en el año 2008, en la parte alta de la cuenca, ejecutando análisis fisicoquímicos en laboratorio.

En unas de las investigaciones realizadas en la cuenca del lago de Amatitlán, se cuantificaron algunos metales pesados en cinco áreas en el lago, concluyó dicha investigación que el nivel con mayor grado de contaminación, es en la desembocadura del río Villa Lobos, el cual sobrepasa los límites permisibles para las Normas de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) (Cajas, 2002).

También se realizó otra investigación donde se realizó un monitoreo continuo en época seca y lluviosa de la calidad y cantidad del agua del río Villalobos. Se tomaron datos a cada hora de pH, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos y en la cual se cuantificaron parámetros como nitrógeno, fósforo, demanda química y bioquímica de oxígeno y sólidos en suspensión. Uno de los objetivos principales de la investigación fue la obtención de información sobre el comportamiento diurno y nocturno de este cuerpo hídrico el cual vierte sus aguas hacia el lago de Amatitlán (García, 2002).

Se pudo establecer que existió correlación entre las variables N/P (0,84), N/DQO (0,65), N/DBO (0,65), P/DQO (0,76), P/DBO (0,74) en época seca y lluviosa. Otra conclusión muy importante del estudio fue que en época no lluviosa el caudal es una variable inversamente proporcional hacia los contaminantes químicos a excepción del nitrógeno y fósforo y en la época lluviosa el caudal influye directamente sobre los parámetros físicos y químicos (García, 2002).

En la investigación demuestra que las mayores cargas contaminantes liberadas hacia los tributarios del lago de Amatitlán se realizan en el periodo diurno, en horarios de 9:00 a 15:00 horas. Que coincide con las horas del uso del agua por parte de la industria y de la población en general. En horario nocturno disminuyen considerablemente los contaminantes (García, 2002).

También estableció que, el fósforo tiene un factor máximo de 7,668 y un mínimo de 503 kg/día en época lluviosa. Este elemento deriva de aguas domésticas e industriales. La cantidad de metales pesados encontrados en la carne de peces y moluscos que habitan el lago de Amatitlán sobrepasan los límites permisibles para las Normas Alemanas y Las Normas de la FAO/OPS, al igual que coliformes fecales presentes en el músculo, branquias y piel de los peces del lago (García, 1997), (Roesch, 1998) (Cajas, 1998).

La tesis de Maestría denominada “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” 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 cauce 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 (Gil, 2008).

El Clima de Guatemala es un término que se refiere al tiempo atmosférico en el país. La ubicación tropical de Guatemala no permite que se marquen con precisión cuatro estaciones en el año, como en los países situados al norte o al sur de la línea del ecuador.

En realidad, las estaciones se reducen a dos: la lluviosa, a la que se le denomina invierno - mayo a octubre- y la seca, a la que se conoce como verano -noviembre a abril- (Asociación de Amigos del País, 2004).

Las de clima templado alcanzan una temperatura media anual de 17°C y están situadas entre 800 y 1900 msnm. Por último, las de arriba de 1900 msnm, regiones de tierra fría, la temperatura puede bajar a 0°C o menos. En la mayoría de lugares del país el clima es más fresco de noviembre a febrero. Cuando se registran las temperaturas más frías en las zonas altas no es raro que los picos de los volcanes más elevados se cubran de hielo (Asociación de Amigos del País, 2004).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Situación geográfica de la cuenca de Amatlán

3.1.1 Municipios que integran el área de influencia

Los municipios que integran el área de influencia de la Cuenca son: Guatemala, **Mixco**, Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, Amatlán y San Miguel Petapa. En el caso de Guatemala es importante señalar que la parte que pertenece a la cuenca es la que corresponde a las zonas 11,12, 13, 14 y 21 (Cordón, y Mérida, 1997).

3.1.2 Características generales de la cuenca de Amatlán

La cuenca del lago de Amatlán está formada de varias subcuencas, las que finalmente convergen en el río Villa Lobos, en el lado norte del lago y el río Michatoya al sur. Los ríos tributarios principales del río Villalobos son: Platanitos, Pinula, Las Minas, Tulujá, El Bosque, **Molino**, San Lucas, Parrameño. Los suelos de la cuenca y del lago, son de origen volcánico de diferentes épocas (consolidados hasta ser rocas), aluvión y del lado norte sedimentos eólicos, flujos de ceniza, sedimentos fluviales y lacustres (García, 2001).

Según la clasificación taxonómica de suelos (Simmons, 1959), los suelos de la cuenca y el lago Amatlán corresponden a las categorías taxonómicas III, V y VII, de vocación forestal (Escobar, 1997).

La topografía de la cuenca se caracteriza por un relieve muy fuerte y subsuelo muy suelto, (suelto y permeable), forma un terreno de relieve moderado, al norte de una cadena volcánica de la época cuaternaria con alturas hasta 4000 msnm, paralela a la costa del pacífico. Su climatología, hay predominancia de vientos de noreste-sureste, donde su temperatura media anual de la cuenca es bastante estable. La época más lluviosa es en los meses de Junio a Septiembre; la altura sobre el nivel del mar, varía desde los 2400 hasta los 1188 msnm, ambos parámetros ubicados en el municipio de Amatlán (De la Cruz, 1982), (Escobar, 1997).

La cuenca se encuentra situada dentro del sistema montañoso formado por la faja volcánica del Pacífico que atraviesa al país y que se compone de rocas terciarias y cuaternarias. El valle es el resultado de una depresión de origen tectónico de dirección NE-SO en forma de recipiente alargado en una extensión aproximada de 800 km² (De la Cruz, 1982), (Escobar, 1997).

3.1.3 Geología y morfología

La formación de los suelos de Guatemala iniciaron durante la época terciaria, en la que grandes subsidencias formaron una topografía de gradas con grandes depresiones y alzamientos formando así el graben (sistema que esta entre dos fallas geológicas) que se extiende en dirección NNE - SSW por casi 40 kms. Está delimitado hacia el este y oeste por las fallas de Santa Catarina Pínula y Mixco. Hacia el sur, convergiendo en una estructura de colapso vulcano-tectónica en forma concéntrica (Caldera de Amatitlán) la cual ha sido parcialmente afectada por estructuras y fallas preexistentes que pertenecen a los sistemas de Mixco y Santa Catarina Pínula (De la Cruz, 1982).

La actividad volcánica en el área, se inició en el período Terciario con la emisión de flujos de lavas en forma de erupciones y conjuntamente con la actividad tectónica se depositaron materiales con un volumen total estimado de 65 kms². Los niveles de sedimentos y productos volcánicos encontrados en los diferentes estratos de estos suelos testifican la presencia de una cuenca lacustre de considerable dimensión (De la Cruz, 1982).

3.1.4 Flora y fauna

Las características actuales de los terrenos en la cuenca son muy variadas y presentan áreas de poca vegetación con pasto, arbustos, las cuales por muchos años fueron cultivadas en las partes planas con cultivos anuales.

“La cuenca presenta 2 zonas de vida: a) Bosque Húmedo Subtropical Templado: con vegetación: *Pinus oocarpa* (pino colorado), *Curatella americana* (lengua de vaca), *Quercus*

sp. (roble) *Byrsonima crassifolia* (nance) y b) Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical: *Pinus pseudostrobus* (pino triste), *Pinus montezumae* (pino ocote), *Alnus jorullensis* (aliso), *Juniperus comitana* (ciprés), *Ostrya* sp. (duraznillo), *Arbutus xalapensis* (madrón de la tierra fría). Sobre la vegetación acuática se encuentran como géneros predominantes: *Eichhornia* y *Egeria*” La fauna característica son mamíferos pequeños como ardillas, conejos, serpientes, ratones, búhos y aves. La cuenca del río Molino es un área de paso para aves migratorias (García, 1997).

3.1.5 Clima

Las características actuales del clima son muy variables por las diferentes alturas que se registran en la cuenca y que por diferentes efectos ambientales se ha ido modificando radicalmente llevándolo a un ambiente con incidencia en épocas cálidas y frías a los extremos lo que lo hacen muy incómodo y poco confortable (García, 2001).

3.1.6 Temperatura

Las temperaturas varían entre 15 a 28 °C. La precipitación pluvial se establece dentro del rango de 650 a 1500 mm al año. Los vientos son de predominancia de norte a sur.

3.1.7 Erosión y asolvamiento

Otro de los aspectos que contaminan o forman asolvamiento es la erosión y transporte de sedimentos en éste cuerpo hídrico. En 1974 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) reporta una tasa anual de arrastre de sedimentos cercana las 400,000 toneladas (Ocheita, 1976). Según la Autoridad del lago de Amatitlán, en 1994 ésta tasa se incrementó a 550,000 toneladas/año. En los últimos años, la deposición de sedimentos en la zona de desfogue del río Villalobos ha sido tal, que anualmente cobra un área considerable del lago de Amatitlán en al menos 10,000 m².

En 1987, un estudio del Proyecto Regional de Manejo de Cuencas y del Centro Agronómico Tropical de Investigación (PRMC/CATIE, 1987), tipifica el deterioro causado a la cuenca por la actividad humana y el crecimiento de la ciudad de Guatemala y su área

de influencia hacia el sur, incluyendo: Villa Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva y parte de Mixco (Tejeda, 1995).

El deterioro se presenta en forma de deforestación inmoderada, quemadas, prácticas agrícolas, ganaderas y mineras y un acentuado crecimiento urbano. Otros efectos colaterales (producción de centros industriales, construcción y apertura de vías y caminos) han inducido más problemas, como son la deposición de desechos sólidos (basuras) y sedimentos en los lechos de ríos, la proliferación de deslizamientos y derrumbes debido a la desestabilización de taludes, la degradación de los suelos y una marcada contaminación (Tejeda, 1995).

3.1.8 Erosión en el río Villalobos

Cordón, y Mérida (1999). Estimación de arrastre de sedimentos en el río Villalobos, véase el cuadro No.1.

TOTAL DE SEDIMENTOS POR AÑO	1974-1998		1998-1999	
	Ton/año	M ² /año	Ton/año	M ² /año
	51813	23019	1943758	849846

Los datos presentados en el anterior cuadro son estimaciones lineales que se han realizado desde el año 1978 al 1999. Esto produce un volumen total de 9,762,648 m³ de sedimento que han entrado en el lago y representa un 3,2% de pérdida en la capacidad de almacenamiento en un período de 28 años (Escobar, 1997).

3.1.9 Municipios con más influencia en la cuenca del lago de Amatitlán

3.1.9.1 Municipio de Mixco

Este municipio se ubica en el extremo oeste de la ciudad capital. Se localiza a 90° 34' de longitud oeste y 14° 16' de latitud norte, con un área total de 99 km² de los cuales 45,26 km² están dentro de la cuenca. Es un municipio prácticamente integrado a la ciudad capital,

a través del comercio, producción, transporte, vías de comunicación y en cierta medida, en aspectos de salubridad en cuanto al manejo de aguas residuales. La principal carretera que atraviesa el municipio de Mixco Interamericana CA-1, que conduce a la frontera con México. De la capital por la misma al noroeste 14 km. a la entrada sur a la cabecera y de allí 100 mts. aprox. al centro de Mixco. El Instituto Nacional de Estadística (INE), reporta en las proyecciones para el año 2012 una población de 483,705 habitantes en el municipio.

3.1.9.2 Microcuenca río Molino

El río Molino pertenece al municipio de Mixco del departamento de Guatemala. En este río se descargan las aguas residuales de tipo ordinario (doméstico) y de tipo especial (industrial), industrias, como fabricantes de lámina, hierro, textileras, litografías entre otras.

En su recorrido vierten sus aguas residuales las zonas 1, 2 y 8 de Mixco en ellas localizadas la mayoría de las industrias en el municipio. Las aguas residuales crudas son vertidas en el río Molino, sin un tratamiento previo, lo que ha contribuido al deterioro de la calidad del agua del río y del lago de Amatitlán.

La microcuenca río Molino es la tercera en tamaño dentro de la cuenca y posee el río más largo de toda la cuenca. 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 (Informe de labores, 2005). Es importante recordar que esta microcuenca contribuye con un caudal a la cuenca del lago de Amatitlán de 6,30%. Es uno de los ríos tributarios que lleva más carga contaminante orgánica diariamente en época de estiaje con 2764,8 Kg/día (García, 2001).

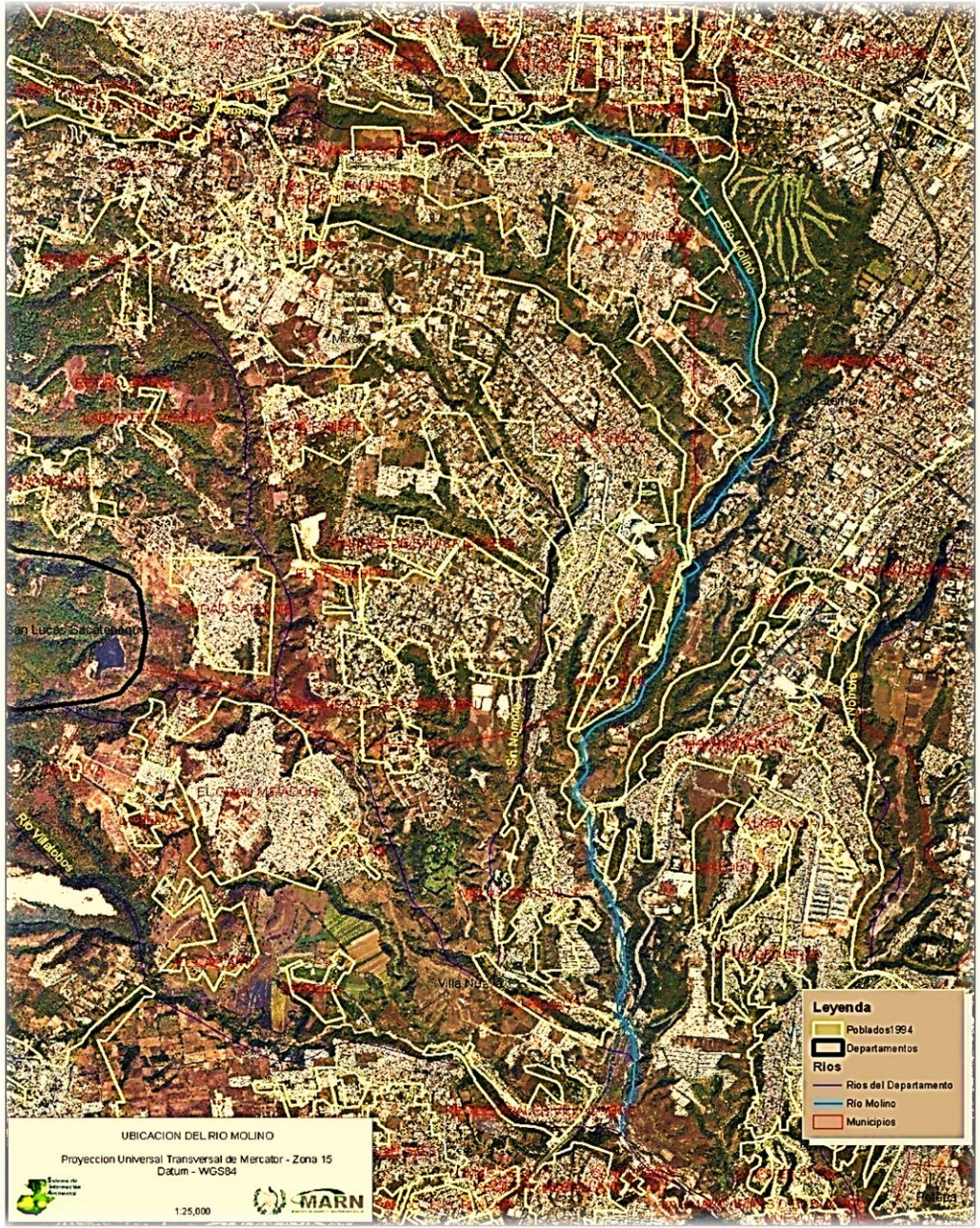


Figura No. 1. Ubicación río Molino, (Trabajo de campo, 2009)

3.1.9.3 División administrativa

Territorialmente el municipio de Mixco está dividido en once zonas, conformadas por colonias, aldeas, cantones y la cabecera municipal. Sin embargo, algunas aldeas son convertidas en colonias, otras son lotificaciones nuevas y de reciente población, de carácter residencial.

Cuadro No. 2. Aldeas y colonias del municipio de Mixco

Aldeas	Colonias	
1. El Campanero	1. El Milagro	11. Monte Real
2. San José La Comunidad	2. Primero de Julio	12. Monte Verde
3. Lo de Coy	3. San Francisco	13. El Castaño
4. Lo de Bran	4. El Caminero	14. Pablo VI
5. Lo de Fuentes	5. Carolingia	15. Belencito
6. El Naranjito	6. Las Brisas	16. Molino de Las Flores
7. Sacoj	7. La Brigada	17. Ciudad San Cristóbal
8. Buena Vista	8. Belén	18. Lomas de Portugal
9. El Aguacate	9. Monserrat	19. Bosques de San Nicolás
10. El Manzanillo	10. Las Minervas	20. El Tesoro
21. El Tesoro Banvi		

Fuente: Escobar, 1997.

De las colonias se excluye La Florida, por haber pasado a formar parte de la Ciudad de Guatemala en 1958.

3.1.10 Municipio de Guatemala

Es el municipio más importante, ya que es la capital del país, en el cual se concentra el poder político y económico y la mayor cantidad de industria y comercio.

3.1.11 Municipio de Villa Nueva

Es un municipio del departamento de Guatemala, ubicado al sur de la ciudad capital, dentro de los 14° 31'32" latitud norte y 90° 35' longitud oeste del meridiano de Greenwich. Su área total es de 75 km² de la cual el 98% pertenece a la cuenca del lago de Amatitlán (Cordón, y Mérida, 1997).

3.1.12 Municipio de Villa Canales

Está ubicado en el sur oriente de la capital, dentro de los 14° 29' de latitud norte y a 90° 33' de longitud oeste. Su área total es de 353 km² de los cuales el 77% están dentro de la cuenca. Este municipio tiene alto grado de dispersión de la población, mientras que los servicios municipales se concentran en la cabecera municipal exclusivamente.

3.1.13 Municipio de Amatitlán

Es el municipio donde se encuentra el lago que lleva su nombre. Se encuentra al sur de la ciudad capital su ubicaciones es en los 14° 29' de latitud norte y 90° 37' de longitud oeste, con una extensión territorial de 114 km².

3.1.14 Municipio de Santa Catarina Pínula

Se encuentra ubicado en el extremo este del departamento de Guatemala. Se localiza a 14° 35' de latitud norte y 90° 30' longitud oeste. Su área total es de 48 km².

3.1.15 Municipio de San Miguel Petapa

Es el más pequeño del departamento de Guatemala, ubicado al sur oriente de la capital dentro de los 14° 29' de latitud norte y 90° 37' de longitud oeste. Su área total es de 20,14 km².

Cuadro No. 3. Área total y de influencia por municipios

CUENCA	AREA TOTAL km²	AREA INFLUENCIA km²	INTERVIENE CUENCA (%)
Amatitlán	114	48.3	42.4
Guatemala	228	42.7	18.7
Mixco	99	45.3	45.7
San Miguel Petapa	20.1	20.1	100
Santa Catarina Pínula	48	25.2	52.5
Villa Canales	353	76.4	21.6
Villa Nueva	75	73.4	97.9
Otros municipios		49.9	
Toda la cuenca	937.1	381.32	

Fuente: AMSA, 1995; Cordón, y Mérida, 1997.

Cuadro No. 4. Caracterización física de las microcuencas del lago de Amatitlán

MICROCUENCA	AREA miles (ha)	% AREA	LONGITUD Km	ANCHO (km)	PERÍMETRO (km)
Platanitos	5,003	13,17	16,00	6,10	43,50
Amatitlán	6,384	16,80	23,35	11,43	44,62
El Bosque	656	1,73	5,05	2,30	13,75
Tulujá	1,130	2,98	6,75	3,90	17,00
Las Minas	5,458	14,36	9,90	6,50	28,00
Villalobos	4,002	10,53	21,80	6,75	58,00
Pinula	4,563	12,00	38,65	3,95	45,00
Molino	4,810	12,66	19,10	4,00	44,50
San Lucas	4,355	11,46	11,35	5,00	34,12
Parrameño	1,639	4,31	10,50	3,00	24,37
TOTAL	38,000	100			

Fuente: PRMC/CATIE, 1987.

3.1.16 Situación industrial

Las actividades más comunes dentro de la cuenca son:

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

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

3.2 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006 Emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (Ver en anexo).

Capítulo V del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

3.2.1 PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA A CUERPOS RECEPTORES

Artículo 16. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES.

Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura,
- b) Potencial de hidrógeno,
- c) Grasas y aceites,
- d) Materia flotante,
- e) Sólidos suspendidos totales,
- f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- g) Demanda química de oxígeno,
- h) Nitrógeno total,
- i) Fósforo total,
- j) Arsénico,
- k) Cadmio,
- l) Cianuro total,
- m) Cobre,
- n) Cromo hexavalente,
- o) Mercurio,
- p) Níquel,
- q) Plomo,
- r) Zinc,
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

3.2.3 Artículo 20. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES.

Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

Cuadro No. 5. Límites máximos permisibles Acuerdo Gubernativo (236-2006)

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Fuente: Acuerdo Gubernativo, 236-2006.

Los parámetros de calidad del agua analizados son los siguientes:

Temperatura

La principal fuente de temperatura para el agua proviene de la energía lumínica de la luz solar, la temperatura del agua depende directamente de la temperatura del medio ambiente el cual está determinado por el clima y la velocidad del viento. Un aumento exagerado de temperatura acelera el agotamiento de oxígeno en el agua, por escape físico del gas y por un mayor gasto en los procesos de descomposición de la materia orgánica y respiración.

Oxígeno

Concentración de oxígeno disuelto, este gas es uno de los más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El oxígeno llega al agua por difusión de la atmósfera o por fotosíntesis, su difusión dentro de un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por diferencia de densidad de las capas de agua o por vientos.

Potencial de hidrógeno (pH)

Concentración de iones hidrogeno, pH, es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno [H+] presentes en determinada sustancia. El término significa potencial de hidrógeno. Una acidez creciente produce cambios drásticos y fatales para la vida acuática y disminuye la productividad primaria (Auró, 2001).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Demanda bioquímica de oxígeno, DBO, permite conocer los requerimientos relativos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica, como estimado final. Es en sí un estimador de la materia orgánica biodegradable que se expresa como oxígeno consumido en miligramos / litro. Representa la reserva orgánica que permite continuar el equilibrio ecológico acercándose o alejándose de la eutrofización.

Fósforo total

La determinación de su concentración permite conocer el potencial energético-bioquímico del ecosistema para su mantenimiento equilibrado o para sugerir el posible impacto a corto plazo en condiciones de eutrofización. El fósforo está presente en todos los organismos vivos en los ácidos nucleídos de sus células a parte de una gran gama de compuestos bioquímicos responsables de los procesos energéticos.

Nitrógeno total

El nitrógeno total es la suma de todos los aportes nitrogenados proteicos y no proteicos, que puedan ser susceptibles de convertirse en una forma común capaz de ser medida. No existen procesos espontáneos de formación de compuestos orgánicos nitrogenados sin la intervención de organismos vivos. El aumento de la carga nitrogenada de un tributario o cuerpo de agua está directamente relacionado con la densidad de las poblaciones humanas asentadas en sus riveras.

Metales pesados

Todos los metales pueden ser tóxicos para los seres vivos si los niveles de exposición son suficientemente altos. Los metales son especialmente importantes debido a su característica de acumulación en los organismos. Muchos metales se llaman pesados ya que su densidad es mayor a 5 g/cm³.

Coliformes totales y fecales

Aunque las enterobacterias son definidas como comensales normales del intestino de los mamíferos superiores su origen en un cuerpo de agua puede atender a diferentes causas y solamente *Escherichia coli* tiene una causa definitivamente fecal, ya que tienen como hábitat permanente el tracto digestivo y el agua. Indica su presencia la posibilidad de encontrar elementos patógenos y nocivos para la salud humana, como cepas enteropatógenas que puedan originar enfermedades diarreicas (DIGEN, 1992).

Grasas y aceites

Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar.

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética.

La determinación analítica de grasas y aceites no mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias susceptibles de disolverse en hexano, incluyendo ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia extractable con hexano (Arce, 2000).

El hecho que las grasas y aceites sean menos densos que el agua e inmiscibles con ella, hace que se difundan por la superficie, de modo que pequeñas cantidades de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua. Además de producir un impacto estético, reducen la oxigenación a través de la interface aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. Encarecen los tratamientos de depuración, y algunos aceites, especialmente los minerales, suelen ser tóxicos.

Materia flotante

Se considera materia flotante cualquier sustancia sólida de una muestra de agua residual y residual tratada retenida en una malla de acero inoxidable de 2.8 a, 3 mm de abertura. La materia flotante está presente en el río Molino, este parámetro se mide visualmente y en el campo, es muy importante ya que nos ayuda a determinar a simple vista la contaminación por desechos fisiológicos en el agua, en los cuatro monitoreos realizados, no cumplen con el reglamento de aguas residuales 236-2006. (Arce, 2000).

4. OBJETIVOS

General

1. Contribuir a la protección y conservación del lago de Amatitlán, mediante el estudio de la calidad del agua superficial del río Molino, uno de los principales tributarios del lago de Amatitlán.

Específicos

1. Determinar cuantitativa y cualitativamente, la calidad del agua del río Molino, semanalmente en el mes de Mayo del 2009, a través del análisis de parámetros físico-químicos *in situ* y en laboratorio.
2. Comparar los datos de monitoreo de los parámetros versus los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para determinar el grado de contaminación.

5. METODOLOGÍA

5.1 Ubicación geográfica

El punto de monitoreo, para la toma de muestras de aguas residuales se realizó en la parte baja de la cuenca del río Molino, en las coordenadas geográficas, Lat. N14° 33' 18.4 " y Long. 90° 34' 38.2 ", dicha área es previa a la formación del río Villalobos. Se realizó la medición del caudal del río en la siguiente ubicación geográfica: Latitud N14° 33' 22 " y Longitud 90° 34' 35.8 " seleccionando el punto más adecuado y en donde la velocidad fuera constante.

5.2 Procedimiento y manejo

5.2.1 Toma de muestras

Inicialmente se identificó el punto de captación de las muestras, en el cual se monitoreó una vez por semana en el mes de mayo del 2009.

Se tomaron muestras simples para determinar cualitativa y cuantitativamente la contaminación del río Molino, evaluando parámetros *in situ* como temperatura y potencial de hidrógeno (pH), posteriormente se procedió a la toma de muestras simples para el análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio, utilizando galones plásticos nuevos y frascos de vidrio estériles depositándolos en hieleras con hielo, y debidamente identificadas para su transporte hacia el Laboratorio Nacional de Salud "LNS" para su análisis respectivo.

Como medio de preservación de las muestras se utilizó hielo para evitar el deterioro de las mismas, el traslado de la muestra se efectuó en un tiempo adecuado por la cercanía del punto de monitoreo y el laboratorio nacional de salud del Ministerio de Salud Pública.

5.2.2 Análisis en laboratorio

Las muestras se trasladaron al Laboratorio Nacional de Salud “LNS”, para su análisis y cuantificación de los 20 parámetros de contaminación establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 incluyendo metales pesados, los cuales se describen a continuación:

1. Sólidos Suspendidos Totales (SST)
2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
3. Demanda química de Oxígeno (DQO)
4. Nitrógeno (N)
5. Fósforo (P)
6. Color
7. Coliformes Fecales
8. Grasas y Aceites
9. Materia Flotante
10. Temperatura
11. Potencial de Hidrógeno (pH)
12. Arsénico
13. Zinc
14. Cadmio
15. Cianuro Total
16. Cobre
17. Cromo hexavalente
18. Mercurio
19. Níquel
20. Plomo

5.2.3 Métodos utilizados para el análisis de calidad del agua

A continuación se presentan los métodos utilizados por el Laboratorio Nacional de Salud “LNS” para la cuantificación de los parámetros evaluados en la investigación.

Cuadro No. 6. Métodos utilizados en el análisis de calidad del agua

PARÁMETRO	MÉTODO
Grasas y aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Arsénico, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Cadmio, Zinc y Color.	1. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater 20 th. Edition 1998
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	2. DBO5 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 20 th. Edition 1998.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	3. Método Spectroquant Merck. COD Cell Test. 1.14541.0001
Nitrógeno total	4. Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001
Fósforo Total	5. Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001
Cianuro Total	6. Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001
Cromo Hexavalente	7. Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001
Coliformes Fecales	8. LNS MIAP218 Aguas Residuales, Determinación de Coliformes Fecales

Fuente: (Trabajo de Campo, 2009).

5.2.4 Caracterización de la calidad del agua del río Molino

Con los resultados de los monitoreos, se realizó la caracterización de los parámetros que fueron cuantificados en los cinco monitoreos, cuatro realizados en el mes de mayo y uno en el mes de octubre del 2009. A través de tablas de resultados para su posterior análisis.

5.2.5 Análisis comparativo de los resultados

Los parámetros cuantificados mediante mediciones “in situ” y en laboratorio del río Molino fueron analizados y comparados para determinar si cumplen con los Límites Máximos Permisibles de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006, emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

5.3 Aforo del río Molino

Mediante el método del flotador se determinó el caudal del río, utilizando una botella plástica de agua como flotador; se midió la velocidad en la que transcurría ésta en una longitud de 10 metros, repitiendo el proceso cinco veces para estimar un promedio de velocidad. Así mismo se determinó el ancho del río, a través de cinta métrica, dando como resultado 4 metros. Posteriormente se utilizó la fórmula para encontrar el caudal del río que dice:

$$Q = A \times V, \text{ y también: } v = e/t,$$

en donde:

v = es la velocidad media expresada en m/s.

e= es el espacio recorrido en m. por el flotador.

t= es el tiempo en segundos del recorrido e por el flotador.

A = Área de la sección transversal.

Q = Caudal.

5.4 Materiales y equipo

Los materiales utilizados en la investigación son los siguientes:

- frascos vidrio de 1 litro
- Galones plásticos
- Hieleras
- Hielo
- Marcador
- Masking tape
- Hojas de papel bond
- Botella plástica
- Lapicero
- Cinta métrica

El equipo utilizado en la medición de parámetros in situ se describe a continuación:

- Potenciómetro
- GPS
- Cronómetro

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización de la calidad del agua del río Molino

A continuación se presentan los resultados de los cuatro monitoreos realizados para determinar la calidad del agua superficial del río Molino.

Cuadro No. 7. Caracterización de la calidad del agua del río Molino (A.G. 236-2006).

	MONITOREO 1 (5/05/2009)	MONITOREO 2 (12/05/2009)	MONITOREO 3 (19/05/2009)	MONITOREO 4 (26/05/2009)	MONITOREO 5 (13/10/2009)
PARÁMETRO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Temperatura	24 ° C	23.5° C	24 ° C	23.9° C	24.1 ° C
Grasas y aceites	173.4 mg/L	230.8 mg/L	69.6 mg/L	< 10 mg/L	38 mg/L
Materia Flotante	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Sólidos Suspendidos Totales	4116 mg/L	226.4 mg/L	1683 mg/L	408 mg/L	85.3 mg/L
DBO	339 mg/L	434 mg/L	494 mg/L	254 mg/L	200 mg/L
DQO	3791 mg/L	851 mg/L	1875 mg/L	889 mg/L	334 mg/L
Nitrógeno Total	41 mg/L	15 mg/L	11.4 mg/L	3.1 mg/L	13.5 mg/L
Fósforo Total	4.55 mg/L	4.5 mg/L	9.1 mg/L	5.6 mg/L	5.5 mg/L
Arsénico	0.135 mg/L	0.141 mg/L	<0.005 mg/L	0.267 mg/L	<0.02 mg/L
Cadmio	<0.001 mg/L	<0.001 mg/L	0.002 mg/L	<0.001 mg/L	<0.001 mg/L
Ph	7.8	8.3	7.32	8.2	7.69
Cianuro Total	0.035 mg/L	<0.010 mg/L	0.014 mg/L	0.015 mg/L	0.059 mg/L
Cobre	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L	0.38 mg/L	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L
Cromo Hexavalente	0.22mg/L	0.09mg/L	<0.05mg/L	<0.05mg/L	<0.05mg/L
Mercurio	<0.005mg/L	<0.005mg/L	<0.005mg/L	<0.005mg/L	<0.001mg/L
Níquel	<0.5mg/L	<0.5mg/L	<0.5mg/L	<0.5mg/L	<0.35mg/L
Plomo	<0.05mg/L	<0.05mg/L	0.109mg/L	<0.05mg/L	<0.03mg/L
Zinc	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L	0.98 mg/L	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L
Color	4823.5 U Pt-Co	1984.9 U Pt-Co	36952 U Pt-Co	4377.5 U Pt-Co	520 U Pt-Co
Coliformes Fecales	1.1X10 ⁹ NMP/100 ml.	2.4X10 ⁹ NMP/100 ml.	1.1X10 ⁸ NMP/100 ml.	4.6X10 ⁸ NMP/100 ml.	4.6X10 ⁸ NMP/100 ml.

Fuente: (Trabajo de campo, 2009).

6.2 Análisis comparativo de los resultados

Se presentan los resultados de calidad del agua del río Molino en comparación con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Cuadro No. 8. Cuadro comparativo río Molino vrs. Ac. Gub. 236-2006

	MONITOREO 1 (5/05/2009)	MONITOREO 2 (12/05/2009)	MONITOREO 3 (19/05/2009)	MONITOREO 4 (26/05/2009)	MONITOREO 5 (13/10/2009)	Acuerdo Gubernativo 236-2006 Etapa Uno	Si o no Cumple Número de Monitoreo
PARÁMETRO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
Temperatura	24 ° C	23.5° C	24 ° C	23.9° C	24.1 ° C	TCR +/- 7	Si
Grasas y aceites	173.4 mg/L	230.8 mg/L	69.6 mg/L	< 10 mg/L	38 mg/L	100	3, 4 y 5 si
Materia Flotante	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	No
Sólidos Suspendidos Totales	4116 mg/L	226.4 mg/L	1683 mg/L	408 mg/L	85.3 mg/L	600	1 y 3 no Cumplen
DBO	339 mg/L	434 mg/L	494 mg/L	254 mg/L	200 mg/L		No Aplica
DQO	3791 mg/L	851 mg/L	1875 mg/L	889 mg/L	334 mg/L		
Nitrógeno Total	41 mg/L	15 mg/L	11.4 mg/L	3.1 mg/L	13.5 mg/L	100	si
Fósforo Total	4.55 mg/L	4.5 mg/L	9.1 mg/L	5.6 mg/L	5.5 mg/L	75	si
Arsénico	0.135 mg/L	0.141 mg/L	<0.005 mg/L	0.267 mg/L	<0.02 mg/L	0.5	si
Cadmio	<0.001 mg/L	<0.001 mg/L	0.002 mg/L	<0.001 mg/L	<0.001 mg/L	0.4	si
Ph	7.8	8.3	7.32	8.2	7.69	6 a 9	si
Cianuro Total	0.035 mg/L	<0.010 mg/L	0.014 mg/L	0.015 mg/L	0.059 mg/L	3	si
Cobre	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L	0.38 mg/L	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L	4	si
Cromo Hexavalente	0.22mg/L	0.09mg/L	<0.05mg/L	<0.05mg/L	<0.05mg/L	0.5	si
Mercurio	<0.005mg/L	<0.005mg/L	<0.005mg/L	<0.005mg/L	<0.001mg/L	0.1	si
Níquel	<0.5mg/L	<0.5mg/L	<0.5mg/L	<0.5mg/L	<0.35mg/L	4	si
Plomo	<0.05mg/L	<0.05mg/L	0.109mg/L	<0.05mg/L	<0.03mg/L	1	si
Zinc	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L	0.98 mg/L	<0.35 mg/L	<0.35 mg/L	10	si
Color Uni. Platino Cobalto	4823.5 U Pt-Co	1984.9 U Pt-Co	36952 U Pt-Co	4377.5 U Pt-Co	520 U Pt-Co	1300	Cumple 5to monitoreo
Coliformes Fecales	1.1X10 ⁹ NMP/100 ml.	2.4X10 ⁹ NMP/100 ml.	1.1X10 ⁸ NMP/100 ml.	4.6X10 ⁸ NMP/100 ml.	4.6X10 ⁸ NMP/100 ml.	< 1x10⁶	No

Fuente: (Trabajo de campo, 2009).

El análisis de resultados de cada uno de los parámetros cuantificados en comparación con los límites máximos permisibles del Reglamento de las Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo 236-2006.

6.2.1 Temperatura

La temperatura en promedio se mantuvo estable una tendencia y con una variación de un grado centígrado, siendo la mayor de 24.1 grados centígrados y una mínima de 23.5. Uno de los principales problemas en los cambios de temperatura es la disminución del oxígeno disuelto, esta puede actuar directamente sobre el metabolismo de los animales acuáticos. El aumento incrementa la velocidad de reacciones biológicas y la solubilidad de algunos compuestos. (Ver figura No. 1)

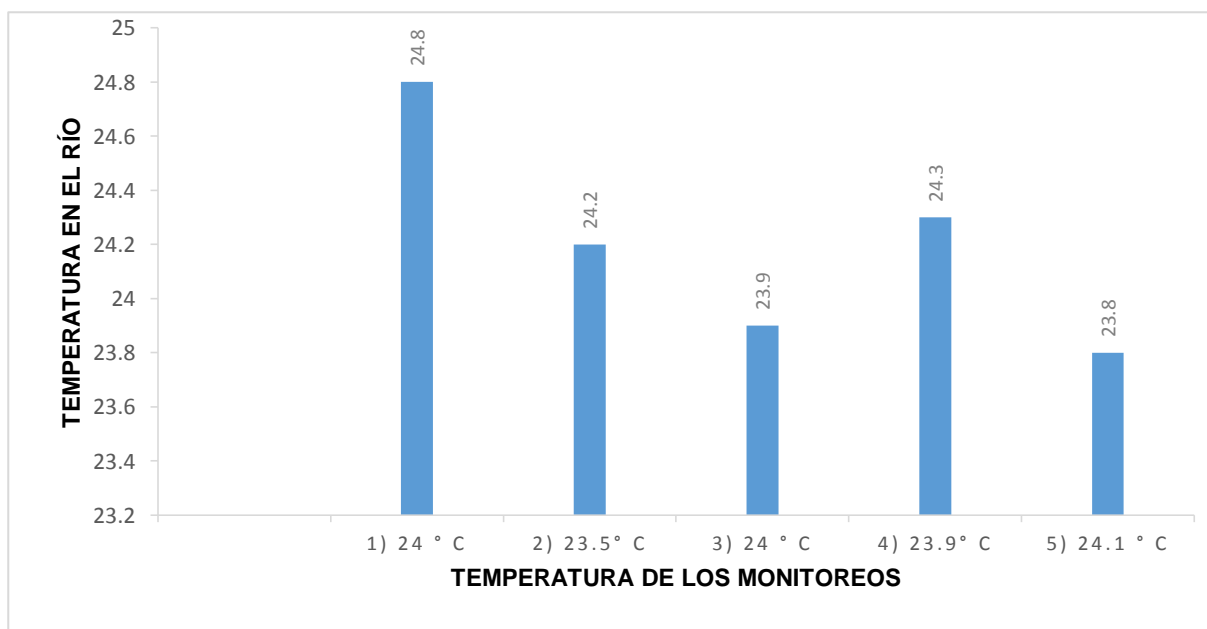


Figura No. 2. Temperatura en grados centígrados, en los puntos de monitoreo en el río Molino (Trabajo de campo, 2009).

6.2.2 Grasas y aceites:

Las grasas y aceites en el río Molino tienen un comportamiento totalmente variable para cada semana del mes de mayo, en las primeras dos semanas el parámetro de grasas y aceites sobrepasa los límites máximos permisibles A.G. 236-2006, siendo el valor de la primera semana de monitoreo de 173.4 y la segunda semana de monitoreo de 230.8 Mg/L, evidenciando que en época de estiaje se eleva dicho parámetro, esto sucede ya que en época de invierno aumenta el caudal, el agua de lluvia es prolongada, ocurriendo una dilución de las grasas y aceites. Lo contrario en las últimas tres semanas en donde se reportó como valor máximo de 69.6 y una mínima de 10 mg/L al igual que en el quinto monitoreo realizado en la tercera semana del mes de octubre.

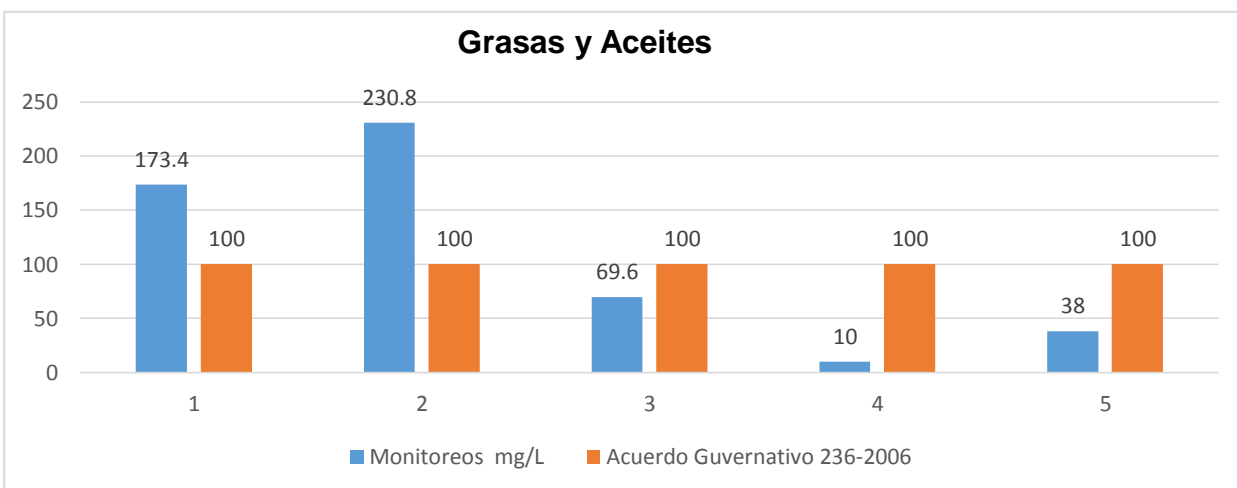


Figura No. 3. Grasas y aceites en mg/L, en los puntos de muestreo durante los monitoreos en el río Molino (Trabajo de campo, 2009).

6.2.3 Sólidos suspendidos totales

Se determinó que los sólidos suspendidos totales o residuos no filtrables, en la muestra, de la primera semana dio como resultado de 4116 mg/L y la tercera semana de monitoreo fue de 1683 mg/L, sobrepasando los límites máximos permisibles del reglamento de aguas de estiaje disminuye, aumentando la cantidad de dicho parámetro, al iniciar la época de

invierno los sólidos suspendidos disminuyen notablemente debido a la dilución y el aumento del caudal.

El aumento de los sólidos en suspensión puede afectar la absorción de la radiación solar, de modo que disminuyen la actividad fotosintética de la vegetación acuática y produce bajas de oxígeno influyendo en la respiración de los peces. Al mismo tiempo obstruyen los cauces, embalses y lagos.

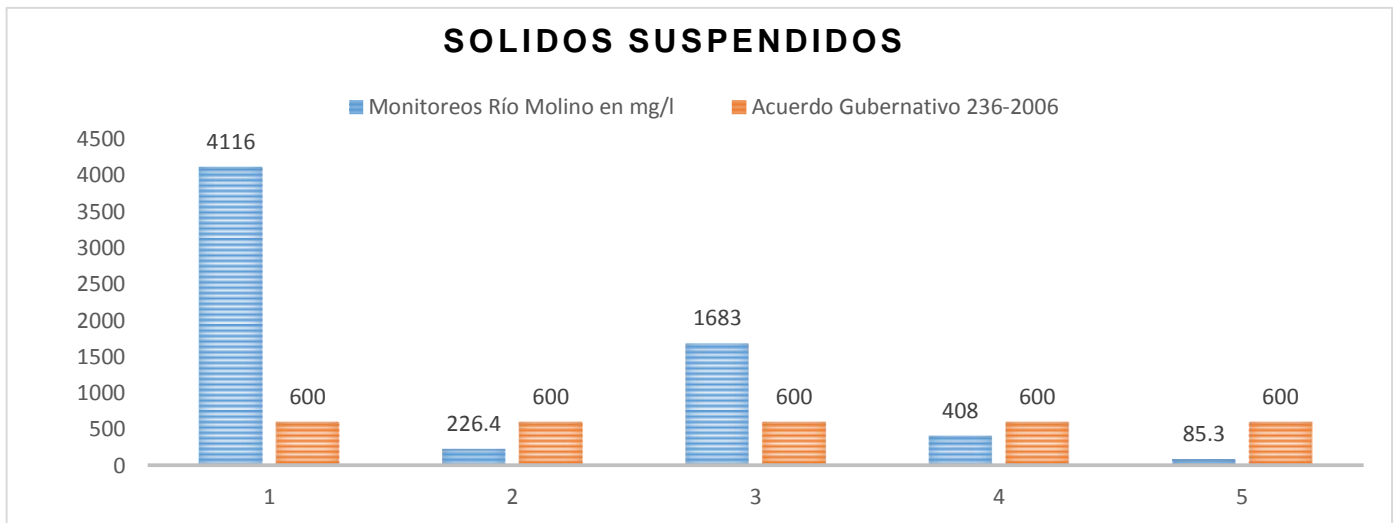


Figura No.4. Sólidos suspendidos en mg/L, los puntos de muestreo durante los monitoreos en el río Molino, en el periodo de mayo-octubre del 2009. (Trabajo de campo, 2009).

6.2.4 Nitrógeno

El resultado de los monitoreos, indica que no tuvo relación con fertilizantes, y que la actividad agrícola en la microcuenca del río Molino en los cultivos de maíz, frijol, legumbres entre otros, es estable, esto se refleja en los niveles estables de nitrógeno de los monitoreos que se efectuaron en el área de estudio. El parámetro de nitrógeno, osciló sus

valores entre 3 y 41 mg/L cumple con los límites máximos permisibles del reglamento, siendo el valor máximo para este parámetro de 100 mg/L.

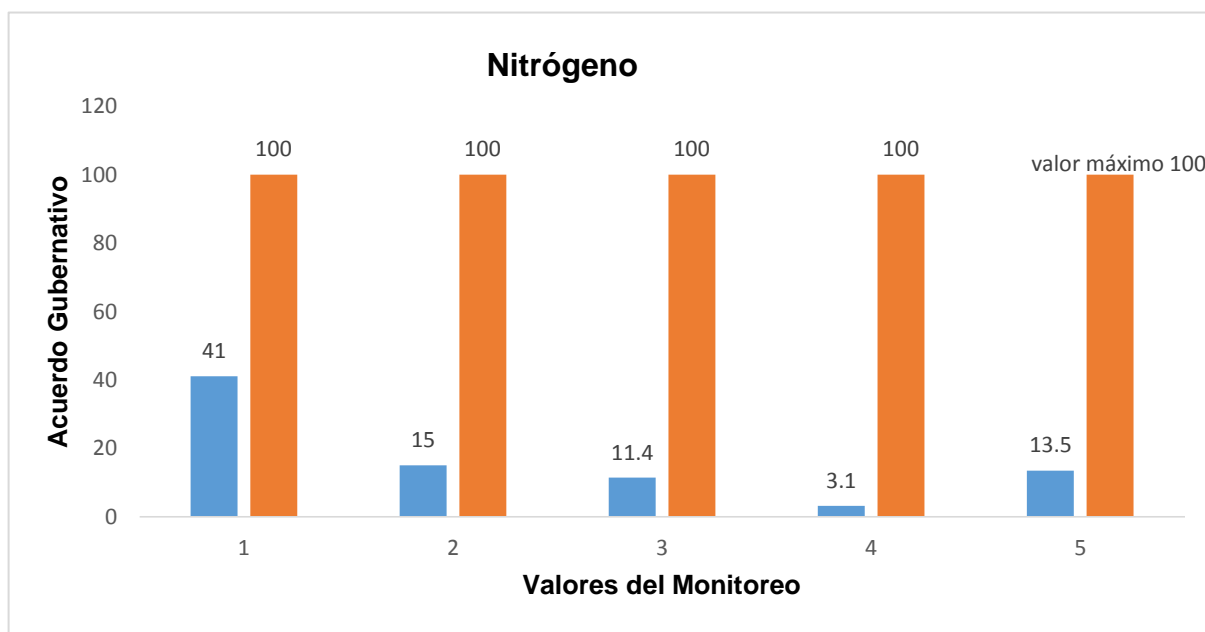


Figura No.5. Nitrógeno en mg/L, en los puntos de muestreo durante los monitoreos en el río Molino (Trabajo de campo, 2009).

6.2.5 Fósforo:

Las cantidades de fósforo para esta área de estudio fue mínima, con un valor de 4.5 y una máxima de 9.1 mg/L para el fósforo total en los cinco monitoreos, siendo el valor máximo 75mg/L según Acuerdo Gubernativo 236-2006.

No es solo la bio concentración el problema medioambiental, también lo es el acceso del oxígeno a la masa de agua, a causa de la espuma en su superficie y el hecho también que no permite la penetración del sol, evitando el proceso fotosintético en el agua, aumentando la toxicidad del 3,4-benzopireno, otro microcontaminante de enorme acción cancerígena. El verdadero problema medioambiental del fosforo contaminado en detergentes reside en los polifosfatos, incluidos en su formulación para ablandar el agua.

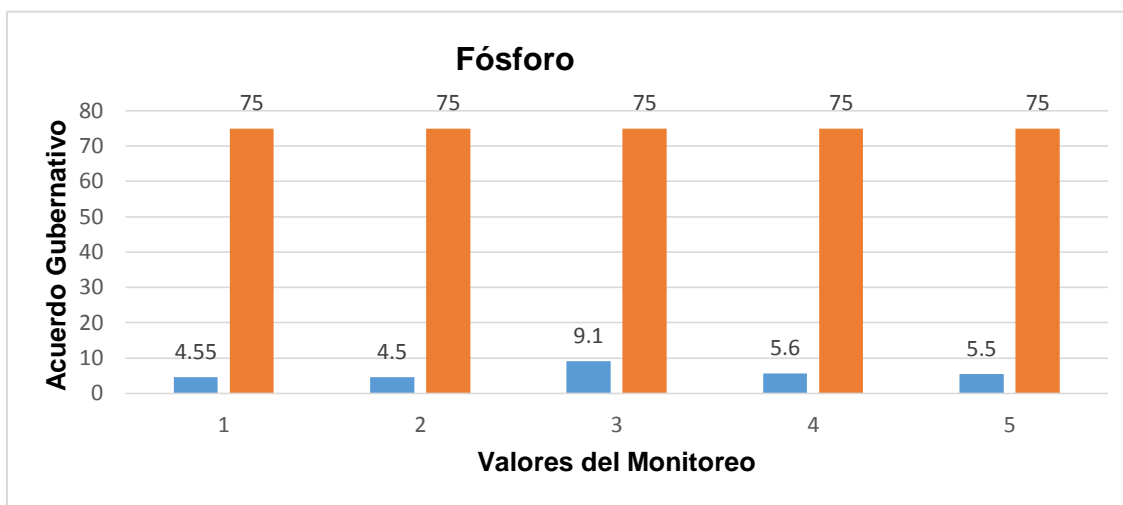


Figura No.6. Fósforo mg/L, en los puntos de muestreo durante los monitoreos en el río Molino (Trabajo de campo, 2009).

6.2.6 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH del río Molino se reportó en el mes de mayo del 2009, en un rango entre 7 y 8.3 cumpliendo con los límites máximos permisibles del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, siendo el rango requerido por éste de 7 a 9. Esto nos indica que los procesos biológicos se llevan a cabo, principalmente, en un intervalo de pH de 6.5 a 8.5; y el río Molino tiene en promedio de 7 a 8.3 grados.

6.2.7 Metales pesados

Los metales pesados evaluados (arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y zinc) estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales según monitoreos de mayo del 2009, ya que las cantidades reportadas fueron mínimas, como en el mercurio el monitoreo reflejo la cantidad de 0.0042 mg/L, siendo su valor según A.G. 236-2006 de 0.1 mg/L, a su vez los demás metales pesados monitoreados si cumplen con los límites máximos permisibles del reglamento de aguas residuales. Estos metales pesados son dañinos para salud humana y para las especies acuáticas, ya que generan bioacumulación en los órganos intenos. A su vez indica que las descargas en el río Molino, no existen muchas descargas de entes generadores de metales pesados, por consiguiente si enfatizamos en promover que todos los entes generadores de aguas residuales descarguen sus aguas a dicho río de estudio con un previo tratamiento y cumpliendo la ley, este río puede ser sanado y restaurado en su totalidad.

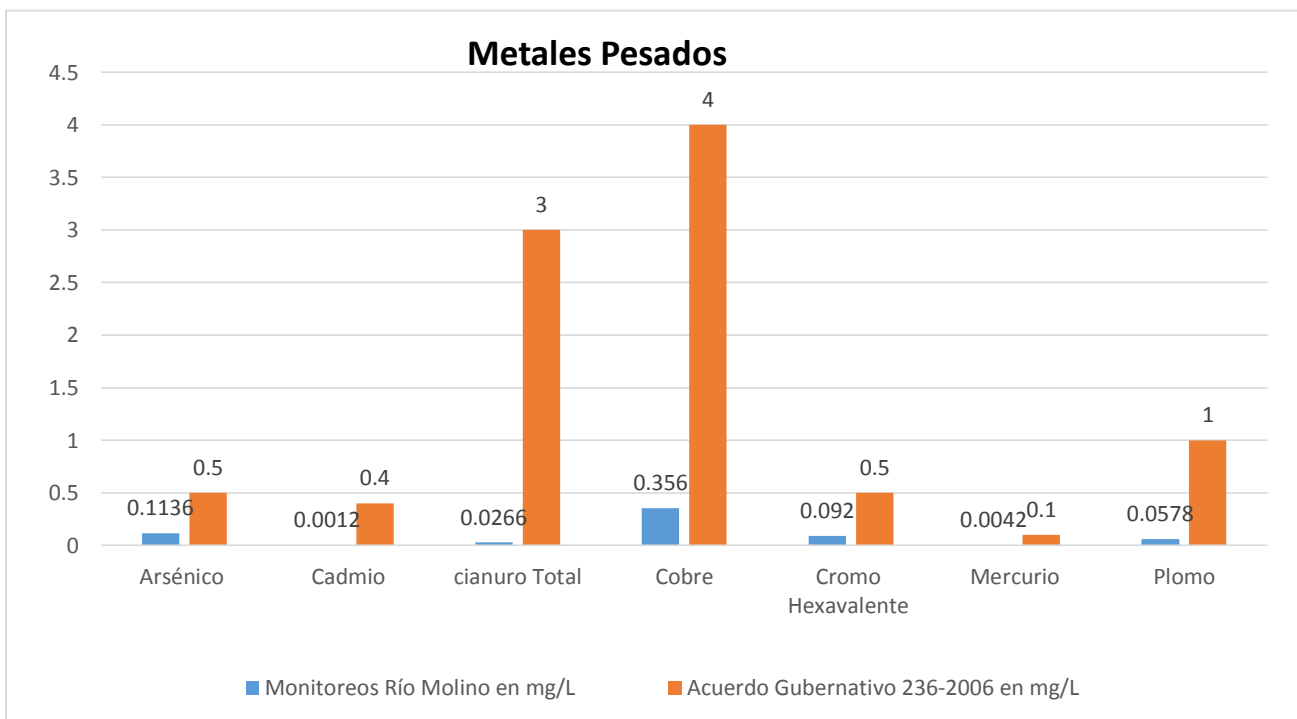


Figura No.7. Metales pesados en mg/L, en los puntos de muestreo durante los monitoreos en el río Molino (Trabajo de campo, 2009).

6.2.8 Color

En el mes de mayo del 2009, se realizaron 4 monitoreos en la parte baja del río Molino, en ninguno de los cuatro monitoreos realizados semanalmente cumplieron con los límites máximos permisibles de color según Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la primera etapa de cumplimiento legal. Teniendo como causas principales el establecimiento de diversas textileras y otras industrias a lo largo de la microcuenca, en el municipio de Mixco, las cuales vierten sus aguas al río Molino sin tratamiento alguno, así como también las aguas residuales de tipo ordinario de varias zonas del departamento de Guatemala.

Los resultados de color del último monitoreo realizado en el mes de octubre del mismo año, si cumple con el acuerdo Gubernativo 236-2006 el cual tiene como resultado 520 UPt-Co, para la primera segunda y tercera etapa de cumplimiento del acuerdo. Esto podría suceder por estar en época de invierno, en la cual las aguas están diluidas y mezcladas con agua de lluvia.

6.2.9 Coliformes fecales

Las descargas crudas de aguas residuales sin tratamiento previo de tipo domésticas, provenientes de los complejos habitacionales circundantes a la cuenca del río Molino y a los afluentes de este, los ríos Pansalic y Pancochá son afluentes principales del río Molino, dichos ríos transportan las aguas residuales de la parte alta de la cuenca hacia el río Molino, transportando coliformes fecales, dicho parámetro no cumple con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006, determinando de esta manera que la mayoría de las aguas residuales descargadas a estas microcuencas son de tipo ordinario.

6.2.10 Aforo del río Molino

Se determinó el caudal del río Molino a través del método del flotador, el cual se describe a continuación:

Utilizando como flotador una botella plástica de agua, en una longitud de 10 metros se midió la velocidad 5 veces dando los siguientes resultados:

$$V1= 11.79 \text{ seg.}$$

$$V2= 12.89 \text{ seg.}$$

$$V3=11.73 \text{ seg.}$$

$$V4= 12.41 \text{ seg.}$$

$$V5= 11.66 \text{ seg.}$$

Promedio 11seg (sd).

$$V= e/t$$

Posteriormente se obtuvo un promedio de la velocidad y aplicamos la fórmula de la velocidad que dice que:

Donde:

v = es la velocidad media expresada en m/s.

e= es el espacio recorrido en metros por el flotador.

t= es el tiempo en segundos del recorrido por el flotador.

Entonces sustituimos en la fórmula:

$$V= e/t$$

$$e= 10 \text{ mt}$$

$$t= 11 \text{ seg}$$

$$v= 10\text{m}/11\text{seg} = 0.90\text{m}/\text{seg}$$

Luego se aplicó la fórmula para encontrar el Caudal que dice:

A= área transversal del río= 4 m

$$Q = A \times v$$

$$Q = 4\text{m} \times 0.90 = 3.60 \text{ m/seg.}$$

Se determinó que el caudal del río Molino es de 3.60 m/seg.

7. CONCLUSIONES

1. El río Molino mostró un promedio de temperatura de 23.9 grados centígrados en mayo del 2009.
2. Las grasas y aceites en el río Molino tienen un comportamiento totalmente variable para cada semana del mes de mayo, en comparación con el Reglamento de Aguas residuales en las primeras dos semanas no cumplió con los límites máximos permisibles.
3. La materia flotante estuvo presente en todos los monitoreos realizados, por lo tanto no cumple con el Reglamento.
4. Los sólidos suspendidos totales, no cumplen con los límites máximos permisibles del Reglamento en la primera y en la tercera semana de monitoreo en el mes de mayo, concluyendo que este parámetro es inestable en la microcuenca.
5. El nitrógeno y fósforo sí cumplieron con los límites máximos permisibles del reglamento, los cuales oscilan entre 3 y 41 mg/L para el nitrógeno y entre 4 y 9 mg/L para el fósforo total.
6. El potencial de hidrógeno (pH) del río Molino se encontró en un rango entre 7 y 8.3 cumpliendo con los límites máximos permisibles del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
7. Los metales pesados evaluados (arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y zinc) estuvieron muy por debajo de los límites máximos permisibles del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales en el mes de mayo y de octubre del 2009.

8. El único resultado de color que cumple con el acuerdo Gubernativo 236-2006 en la primera, segunda y tercera etapa de cumplimiento, fue en el último monitoreo realizado durante el mes de octubre del mismo año, el cual tiene como resultado 520 UPt-Co. Esto sucede por la época de invierno, en la cual las aguas residuales se diluyen y se mezclan con agua de lluvia. Por lo tanto en época de estiaje el parámetro de color no cumple con los límites máximos permisibles del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

9. Los coliformes fecales no cumplen con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006, en ninguno de los monitoreos, concluyendo que la mayoría de las aguas residuales descargadas a esta microcuenca son de origen doméstico.

10. Los parámetros de metales pesados, estuvieron muy por debajo de los límites máximos permisibles del reglamento A.G. 236-2006. Esto se debe a que no hay empresas que generen aguas residuales, como textileras, galvanizadoras entre otras.

8. RECOMENDACIONES

1. La presente investigación debe servir para concientizar y mejorar el recurso hídrico de ríos, lagos y mares, basado en análisis científicos de calidad de agua, para así determinar la vulnerabilidad y la contaminación a las que son expuestos.
2. Se recomienda realizar análisis de calidad de agua en el río Molino, para los parámetros de hierro y manganeso, para determinar si éstos inhiben el crecimiento bacteriano indispensable en la degradación de la materia orgánica.
3. Realizar el aforo del río Molino, en época de estiaje y en época de invierno para determinar el caudal de escorrentía que incrementa en este.
4. A su vez realizar monitoreos quincenales durante todo el año en la microcuenca para determinar qué parámetros predominan en el río Molino y así establecer el tratamiento de aguas residuales más adecuado para el mejoramiento del mismo.
5. Ejecutar investigaciones similares en cada uno de los afluentes del lago de Amatitlán para determinar cuáles ríos están aportando la mayor contaminación del recurso hídrico, y de los parámetros físico-químicos, según Acuerdo Gubernativo 236-2006, y así implementar el o los sistemas de tratamiento adecuado para la eliminación contaminante de aguas residuales.
6. Realizar a su vez estudios de micro y macro invertebrados para determinar la calidad y la autodepuración del agua en dicho río de estudio.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Arce, M., Saenz, N., Terrazas, M., Ortiz, L., Villavicencio, M., y Figueroa, A. (2008). Evaluación de dos parámetros bioquímicos en tres macrófitas acuáticas expuestas a cobre. *Poli Botánica*, 26, 149–158
2. Auró, A. (2001). *Principios de acuicultura*. Universidad Nacional Autónoma de México.
3. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán [AMSA]. (2007). *Revista Realidad*. Guatemala: Revista Realidad.
4. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán [AMSA]. (2007). *Memoria de Labores*. Guatemala: *Revista Memoria de Labores*.
5. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán [AMSA]. (2007). *Boletín Informativo: Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán; No. 2, Edición 3*. Guatemala: Autor.
6. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán [AMSA]. (2005). *Informe de Labores*. Guatemala: Autor.
7. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán [AMSA]. (1997). *Década de estudios limnológicos 1985-1995. 1997*. Guatemala: Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales.
8. Basterrechea Díaz, M. (1986). *Limnología del lago de Amatitlán*. Guatemala: USAC, y Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
9. Cajas Cano, L. N. (1998). *Aislamiento de Escherichia coli y Coliformes totales en branquias, músculo y piel de peces que habitan el lago de Amatitlán*. Guatemala: USAC.



10. Cajas, L. (2002). *Cuantificación de los agentes físicos y químicos de contaminación en el sedimento del lago de Amatitlán*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].
11. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD]. (2002). *Caracterización efluentes industriales ubicadas en la Cuenca de Amatitlán*. Guatemala: Autor.
12. Cordon y Mérida Ingenieros. (1997). *Proyecto de evaluación del problema de erosión y transporte de sedimentos en la subcuenca del lago de Amatitlán*. Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y el lago de Amatitlán [AMSA].
13. Cruz, R. de la. (1982). *Clasificación de zonas de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge*. Guatemala: Instituto Nacional Forestal [INAFOR].
14. Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de los Estados Unidos, y Centro Topográfico del Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de los Estados Unidos. (2000). *Evaluación de los recursos de agua de Guatemala*. Estados Unidos: Autor.
15. Dirección General de Energía Nuclear. (1992). *Manual de procedimientos para estudios limnológicos y calidad de agua*. Guatemala: DIGEN.
16. Escobar, V. (1997). *Plan de manejo integrado de la subcuenca del lago de Amatitlán*. Guatemala: AMSA.
17. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria [ERIS], Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC]. (2001). *Situación actual del lago de Amatitlán: Investigación del curso de limnología y saneamiento de corrientes*. Guatemala: Autor.



18. García, H. (2002). *Cuantificación de la calidad del agua del río Villalobos en época seca y lluviosa en un período de 24 horas 2 veces al mes en un punto previo a la entrada al lago de Amatitlán*. Guatemala: USAC.
19. García, H. (2001). *Contaminación por industrias en la cuenca del lago de Amatitlán*. Guatemala: AMSA.
20. García, H. (2001). *Contaminación por urbanizaciones en la cuenca del lago de Amatitlán*. Guatemala: AMSA.
21. García, H. (1997). *Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr VI) y sustancias tóxicas (PO₄=NO₂-y CN) por métodos espectrofotométricos en tejido muscular de Cichlasoma managuense guapote o pez tigre en el lago de Amatitlán*. Tesis Lic. Biólogo. Guatemala: USAC.
22. Gil Rodas de Castillo, N. E. (2008). *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 Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Guatemala: USAC.
23. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN]. (2006). *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo 236-2006)*, Guatemala: Autor.
24. Muñoz, C. E. (1973). *La eutrofización del lago de Amatitlán: Estudio especial*. Guatemala: ERIS, y USAC.
25. Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (1995) *Análisis sectorial de agua potable y saneamiento en Guatemala*. Washington: Autor.



26. Roesch, R. (1998). *Determinación de algunos metales ecotóxicos y hábitos alimenticios del caracol Pomacea sp. del lago de Amatitlán*. Tesis Lic. Acuicultura. Guatemala: USAC.
27. Contreras, H., Faustino, J., y García, R. (Eds.). (1987). *Proyecto Regional de Manejo de Cuencas y del Centro Agronómico Tropical de Investigación*. Costa Rica: PRMC y CATIE.
28. Tejeda Velásquez, C. (2008). *Bioacumulación de mercurio en hígado de tiburón blanco Carcharhinus falciformis*. Tesis Lic. Acuicultura. Guatemala: USAC.
29. Valladares Morales, J. F. (1999). *Caracterización fisicoquímica de los afluentes del río Villalobos: Estudio especial*. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria [ERIS].



10.ANEXO

Glosario

AGUAS RESIDUALES: las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

CARACTERIZACIÓN DE UN EFLUENTE O UN AFLUENTE: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento.

CARGA: el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.

CAUDAL: el volumen de agua por unidad de tiempo.

COLIFORMES FECALES: el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

CUERPO RECEPTOR: embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO: la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

DILUCION: el proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración en un efluente de aguas residuales.

EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES: las aguas residuales descargadas por un ente generador.

ENTES GENERADORES: la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.

EUTROFIZACIÓN: el proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.

LODOS: los sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales.

MANTO FREÁTICO: la capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que pueden ser utilizables por gravedad o por bombeo.

META DE CUMPLIMIENTO: la determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales al final de cada etapa de cumplimiento. En el caso de los entes generadores nuevos y de las personas nuevas que descargan al alcantarillado público, al iniciar operaciones.

MONITOREO: el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reuso y lodos.

MUESTRA: la parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

MUESTRAS COMPUESTAS: dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

MUESTRA SIMPLE: la muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.

PARÁMETRO: la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.

PUNTO DE DESCARGA: el sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

REUSO: el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

SISTEMA DE ALCANTARILLADO PRIVADO: el conjunto de tuberías y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo especial, originadas por distintas personas individuales o jurídicas privadas, hasta su disposición a una planta de tratamiento de aguas residuales privada.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.