



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO PANSALIC, MEDIANTE LA
CARACTERIZACIÓN DE SUS AGUAS EN LA MICROCUENCA DEL ÁREA PROTEGIDA DE
LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA DE MANANTIALES CORDILLERA ALUX**

María José García Canet

Asesorado por el MSc. Ing. Nicolás De Jesús Guzmán Sáenz

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO PANSALIC, MEDIANTE LA
CARACTERIZACIÓN DE SUS AGUAS EN LA MICROCUENCA DEL ÁREA PROTEGIDA DE
LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA DE MANANTIALES CORDILLERA ALUX**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA JOSÉ GARCÍA CANET

ASESORADO POR EL MSC. ING. NICOLÁS DE JESÚS GUZMÁN SÁENZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO PANSALIC, MEDIANTE LA
CARACTERIZACIÓN DE SUS AGUAS EN LA MICROCUENCA DEL ÁREA PROTEGIDA DE
LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA DE MANANTIALES CORDILLERA ALUX**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 16 de noviembre de 2015.

María José García Canet

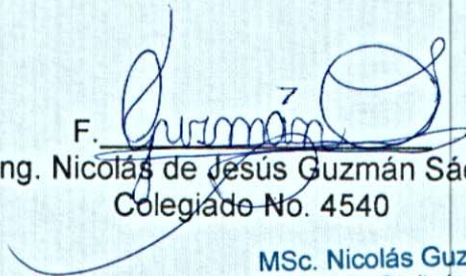


Guatemala, 06 de febrero de 2017

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Su Despacho

De manera atenta me dirijo a usted para informarle que apruebo el informe final de Trabajo de Graduación de la estudiante María José García Canet, quien se identifica con el número de DPI 206273630 0101 de la carrera de ingeniería ambiental, carné 201114296 el cual se titula **"DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO PANSALIC, MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE SUS AGUAS EN LA MICROCUENCA DEL ÁREA PROTEGIDA DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA DE MANANTIALES CORDILLERA ALUX"** el cual he asesorado.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente,

F. 
Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
Colegiado No. 4540

MSc. Nicolás Guzmán
Ingeniería civil y Sanitaria, Col. 4540



Guatemala, 03 abril de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.014.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **082-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **María José García Canet**.
Identificada con número de carné: **2011-14296**.
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO PANSALIC, MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE SUS AGUAS EN LA MICROCUENCA DEL ÁREA PROTEGIDA DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA DE MANANTIALES CORDILLERA ALUX

El Trabajo de Graduación ha sido asesorada por el Ingeniero Civil: **Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Walter Arnoldo Bardeles Espinoza
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.020.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** de la estudiante, **MARÍA JOSÉ GARCÍA CANET** titulado: **"DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO PANSALIC, MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE SUS AGUAS EN LA MICROCUENCA DEL ÁREA PROTEGIDA DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA DE MANANTIALES CORDILLERA ALUX "**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Dav
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale



Agencia Centroamericana de Investigación y
Estrategias de Desarrollo Científico y Tecnológico



Universidad de San Carlos
De Guatemala

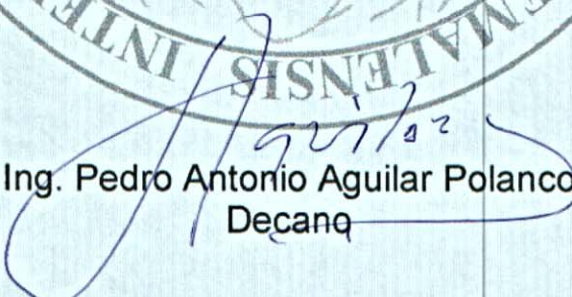


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.215-2017

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 Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO PANSALIC, MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE SUS AGUAS EN LA MICROCUENCA DEL ÁREA PROTEGIDA DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA DE MANANTIALES CORDILLERA ALUX**, presentado por la estudiante universitaria: **María José García Canet**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2017

/cc



ACTO QUE DEDICO A:

Dios y La Virgen	Por ser una importante influencia en mi carrera, y ser la luz y fuerza de mi vida.
Mis padres	Julio García y Lucrecia Canet de García, su amor será siempre mi inspiración.
Mis abuelos	Arnoldo García y Julia Villatoro de García, por ser una importante influencia en mi carrera.
Mi hijo	Matias García Canet, por ser mi mayor inspiración y mi motor para seguir adelante.
Mis hermanos	Lucrecia, Iván y Eduardo Cintora, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis tíos	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Emilio Wong	Por estar ahí en todo momento y creer siempre en mí.
Mis amigos	Por apoyarme siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera y ser la casa de estudio.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Mis amigos de la facultad	Aarón Bendfeldt, Luis Fernando Roca, José Roldan, Jenny Herrera, Stefany Escobar, Tania Arreaza y Lisbeth Flores.
Juan Antonio García	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Nicolás Guzmán	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Carmina López	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Juan Pablo Alvarado	Por estar ahí en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Propiedades y generalidades del agua	7
2.2. Ciclo hidrológico	9
2.2.1. Agua atmosférica.....	10
2.2.2. Agua superficial	10
2.2.3. Agua subterránea	13
2.3. Cuenca	13
2.3.1. Partes de una cuenca.....	14
2.3.2. Microcuenca	15
2.4. Usos del agua.....	15
2.4.1. Uso humano o doméstico	16
2.4.2. Uso industrial	16
2.4.3. Uso público	16
2.4.4. Uso agrícola.....	17

2.4.5.	Uso recreativo	17
2.5.	Contaminación de fuentes y aguas superficiales	17
2.5.1.	Agua superficial.....	18
2.5.2.	Agua cruda.....	19
2.5.3.	Aguas residuales.....	19
2.5.4.	Contaminación hídrica.....	19
2.6.	Gestión integral del recurso hídrico (GIRH)	20
2.7.	Amenaza para el recurso hídrico	21
2.7.1.	Amenaza por escasez.....	22
2.7.1.	Amenaza de contaminación hídrica.....	23
2.8.	Vulnerabilidad del recurso hídrico	23
2.9.	Riesgo para el recurso hídrico	24
2.10.	Acuerdo Gubernativo 236-2006, reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos.....	25
2.11.	Procedimiento para tratar aguas contaminadas	26
2.12.	Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.....	26
2.12.1.	Análisis físico.....	26
2.12.2.	Análisis químico	30
2.12.3.	Análisis bacteriológico.....	33
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
3.1.1.	Identificación y conservación de la muestra	39
3.1.2.	Programas para el análisis de datos	44
4.	RESULTADOS.....	45
4.1.	Primer mes de muestreo, parte baja del río Pansalic.....	45
4.2.	Primer mes de muestreo, parte media del río Pansalic.....	46
4.3.	Primer mes de muestreo, parte alta del río Pansalic.....	46

4.4.	Segundo mes de muestreo, parte baja del río Pansalic	47
4.5.	Segundo mes de muestreo, parte media del río Pansalic	47
4.6.	Segundo mes de muestreo, parte alta del río Pansalic	48
4.7.	Tercer mes de muestreo, parte baja del río Pansalic	48
4.8.	Tercer mes de muestreo, parte media del río Pansalic	49
4.9.	Tercer mes de muestreo, parte alta del río Pansalic	49
4.10.	Metales	50
4.11.	Comparación de resultados	51
4.12.	Caudal	60
4.12.1.	Parte baja	60
4.12.2.	Parte media	61
4.12.3.	Parte alta	61
4.13.	Determinación de IQA	62
4.13.1.	Clasificación de corrientes	63
4.14.	Desfogues de aguas residuales del río Pansalic	64
4.15.	Ubicación de puntos de desfogues	65
4.16.	Toma de muestras	65
4.17.	Desfogues	66
4.18.	Botaderos clandestinos	69
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	71
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	79
	APÉNDICES	84
	ANEXOS	86

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cuenca.....	14
2.	Resultados de nitrógeno y fósforo en la parte baja del río	51
3.	Resultados de nitrógeno y fósforo en la parte media del río	51
4.	Resultados de nitrógeno y fósforo en la parte alta del río	52
5.	Resultados de DBO5 y DQO en la parte baja del río	52
6.	Resultados de DBO5 y DQO en la parte media del río	53
7.	Resultados de DBO5 y DQO en la parte alta del río	53
8.	Resultados de sólidos suspendidos en la parte baja del río.....	54
9.	Resultados de sólidos suspendidos en la parte media del río.....	54
10.	Resultados de sólidos suspendidos en la parte alta del río.....	55
11.	Resultados de grasas y aceites y pH en la parte baja del río.....	55
12.	Resultados de grasas y aceites y pH en la parte media del río.....	56
13.	Resultados de grasas y aceites y pH en la parte media del río.....	56
14.	Resultados de color en la parte baja del río	57
15.	Resultados de color en la parte media del río	57
16.	Resultados de color en la parte alta del río	58
17.	Resultados de coliformes en la parte baja del río	58
18.	Resultados de coliformes en la parte media del río	59
19.	Resultados de coliformes en la parte alta del río	59
20.	Mapa de desfuegos, puntos georeferenciados de desfuegos de aguas residuales	65
21.	Toma de muestras	65
22.	Ubicación de desfuegos y cajas de drenajes sanitarios desfogue	66

23.	Panorámica de desfogues	68
24.	Botaderos clandestinos de desechos sólidos	69

TABLAS

I.	Distribución del agua en la Tierra	8
II.	Parámetros físicos	39
III.	Parámetros químicos	39
IV.	Parámetros bacteriológicos	40
V.	Resultados, parte baja 28 de octubre de 2015	45
VI.	Resultados, parte media 28 de octubre de 2015	46
VII.	Resultados, parte alta 28 de octubre de 2015	46
VIII.	Resultados, parte baja 10 de noviembre de 2015	47
IX.	Resultados, parte media 10 de noviembre de 2015.....	47
X.	Resultados, parte alta 10 de noviembre de 2015	48
XI.	Resultados, parte baja 25 de noviembre de 2015	48
XII.	Resultados, parte media 25 de noviembre de 2015.....	49
XIII.	Resultados, parte alta 25 de noviembre de 2015	49
XIV.	Resultados de análisis de contenido de metales	50
XV.	Artículos 19 y 20: límites permisibles según Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	50
XVI.	Caudal de la parte baja	60
XVII.	Caudal de la parte media.....	61
XVIII.	Caudal parte alta	62
XIX.	Clasificación de colores IQA	63
XX.	Resultados IQA.....	64
XXI.	Puntos georreferenciados de desfogues de aguas residuales	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
As	Concentración de arsénico en la muestra (mg/L)
Cd	Concentración de cadmio en la muestra (mg/L)
Cn	Concentración de cianuro en la muestra (mg/L)
Cu	Concentración de cobre en la muestra (mg/L)
Cr	Concentración de cromo en la muestra (mg/L)
Color	Concentración de cromo en la muestra (mg/L)
P total	Concentración de fósforo total en la muestra (mg/L)
Hg	Concentración de mercurio en la muestra (mg/L)
Ni	Concentración de mercurio en la muestra (mg/L)
MBA	Concentración de nitrógeno total en la muestra (mg/L)
N total	Concentración de nitrógeno total en la muestra (mg/L)
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)
DBO5	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (mg/L)
DQO	Demanda química de oxígeno (mg/L)
CO2	Dióxido de carbono
EC	Escherichia colí
H	Humedad
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrógeno
	Unidades Pt-Co
Zn	Zinc

GLOSARIO

Color	El color en el agua es generalmente ocasionado por la extracción de la materia colorante derivado de hojas, semillas y otras sustancias similares en forma de humos desde los bosques o de la materia vegetal de los pantanos y áreas de poca profundidad y algunas veces es causado por la presencia de coloidales del hierro o magnesio combinado con materia orgánica y descargas de desechos industriales.
Conductividad eléctrica	Es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales.
Escherichia Colí	Es una bacteria habitual en el intestino del ser humano y de otros animales de sangre caliente.
Olor	Esta característica física se debe a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles, algunas de los cuales se producen cuando se descomponen la

materia orgánica. Algunos tipos de microorganismos y compuestos químicos volátiles.

Oxígeno consumido Es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar materiales inestables, en una muestra de agua, por medio de permanganato de potasio en una solución ácida.

Oxígeno disuelto Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas.

Turbidez Es la medida de la opacidad del agua comparada con ciertos estándares establecidos o se debe a la dispersión de interferencias de los rayos luminosos que pasan a través de la misma como resultados de la presencia de materia orgánica e inorgánica finamente dividida.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo la determinación de la contaminación del Río Pansalic ubicado en la microcuenca del área protegida de la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux, mediante la caracterización de sus aguas.

A través un recorrido en la microcuenca del río Pansalic se determinó que los puntos de estudio para la toma de las muestras de agua serían tres: parte alta, media y baja. Cada punto se georeferenció por medio de un equipo de GPS. En cada punto se tomaron tres muestras, nueve en total. El muestreo se llevó a cabo durante los meses de octubre y noviembre. Una toma de muestras en octubre y dos en noviembre.

La muestra fue de 1 galón de agua en cada punto seleccionado del río. Los parámetros de pH y temperatura fueron tomados *in situ* (en campo) y en laboratorio; se realizaron las pruebas para determinar la DQO, DBO, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio y cianuro total. También, se realizó el estudio bacteriológico para la determinación de coliformes fecales en las muestras de agua.

De acuerdo a los análisis realizados en tres puntos del río Pansalic, se determinó que el punto crítico del estudio se encuentra únicamente en la parte baja del río, ya que en esta zona el río no tiene la capacidad de renovarse por sí solo, debido a la alta contaminación por coliformes obteniendo un parámetro de 2.1×10^8 NMP/100 mL, el resultado más elevado; aproximadamente menos del 50 % del agua del río está contaminada en la parte baja, debido a que los

parámetros evaluados según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 cumplen en un 90 % los límites establecidos; el límite de coliformes fecales en la parte baja del río se excede en el rango de límites permisibles; en la parte media, únicamente en la primera toma de muestra el parámetro de coliformes excedió del límite establecido con un valor de $4,6 \times 10^8$ NMP/100 mL. En la parte alta del río en las tres tomas de muestra, se cumple con el límite establecido para presencia de coliformes con valores dentro del rango de 1×10^5 NMP/100 mL.

En la parte media y alta del río se determinó que tiene la capacidad de renovarse diariamente logrando así descontaminar el recurso hídrico. Esto se debe a que la mayoría de descargas que caen al río se encuentran en su parte baja, por lo que, en las zonas media y alta, la carga orgánica que presenta el recurso es de origen natural, que no afecta el afluente del río.

A partir del punto más bajo de la parte media del río empiezan las descargas directas de aguas residuales sin ningún tratamiento, aumentando la cantidad de desfogues en la parte baja del río donde se presentan la mayor carga de contaminación en la zona con un contenido de $1,1 \times 10^8$ NMP/100mL de coliformes fecales. La carga elevada de desfogues y la presencia de basureros clandestinos aumentan la contaminación de este punto del río.

Las principales causas de contaminación del río son los basureros clandestinos alrededor del área del río los desfogues de aguas residuales y el uso de jabones para lavado directo en el río. Existen 11 descargas puntuales de aguas residuales que llegan directamente al río sin ningún tratamiento previo a la descarga. Es importante mencionar que la calidad del agua del río Pansalic, de acuerdo con el índice de calidad del agua (IQA) está en un rango de 7-9 que indica que es un recurso hídrico levemente contaminado: agua de buena calidad, según el reglamento 236-2006, pero no apta para el consumo humano.

OBJETIVOS

General

Evaluar la calidad de agua del río Pansalic mediante la caracterización de parámetros físico, químicos y microbiológicos en la microcuenca del área protegida de la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux.

Específicos

1. Determinar las principales causas de contaminación en el río Pansalic dentro de la microcuenca de la cordillera Alux.
2. Determinar la calidad de agua del río Pansalic de acuerdo a los parámetros establecidos en el reglamento 236-006, en 3 puntos de la microcuenca de la cordillera Alux.
3. Identificar las descargas de aguas residuales puntuales y sus coordenadas geográficas que contaminan al río Pansalic.

HIPÓTESIS

Hipótesis alterna, objetivo 1:

H_a : con base en los antecedentes de estudios del río Pansalic en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala; las probabilidades que el agua de que corre por el afluente actualmente estén contaminadas en un 50 % según los parámetros a evaluar.

Hipótesis nula

H_0 : no existen probabilidades que el agua que corre por el afluente actualmente estén contaminadas en un 50% según los parámetros a evaluar.

Hipótesis alterna, objetivo 2

H_a : la calidad del agua del río Pansalic está siendo alterada por el ingreso de residuos sólidos de la cuenca al cuerpo de agua provenientes de: basureros clandestinos, descargas de aguas residuales provenientes de los pobladores del municipio de Mixco, agua escorrentía y por MBAS (sustancias activas al azul de metileno) causados por el lavado de ropa.

Hipótesis nula

H_0 : La calidad del agua del río Pansalic no está siendo alterada por el ingreso de residuos sólidos de la cuenca al cuerpo de agua provenientes de basureros clandestinos, por descargas de aguas residuales provenientes de los pobladores del municipio de Mixco, agua escorrentía y por MBAS causados por el lavado de ropa.

Hipótesis alterna, objetivo 3

H_a : mediante la evaluación del recurso hídrico de la microcuenca del río Pansalic se pueden identificar las descargas de aguas residuales causantes de la contaminación del río.

Hipótesis nula

H_0 : mediante la evaluación del recurso hídrico de la microcuenca del río Pansalic no se pueden identificar las descargas de aguas residuales, causantes de la contaminación del río.

INTRODUCCIÓN

La calidad de vida y el desarrollo de las poblaciones en Guatemala están totalmente ligados a los recursos hídricos. La demanda de estos recursos es sumamente alta por lo que el uso inadecuado puede causar daños a los pobladores. Los recursos hídricos son dependientes de variables cualitativas como cuantitativas. Estos recursos pueden ser afectados por el mal manejo de cuencas, aumento de población, el cambio en el uso del suelo; con actividades agrícolas, silvicultura, entre otras cosas. Problemas económicos, falta de programas de salud, pobreza y carencia de ordenamiento territorial obligan a que las poblaciones cercanas a fuentes de agua, sobreexploten los recursos naturales generando impactos negativos en el recurso hídrico. Hay que agregar a estos factores la inexistencia de medidas de mitigación y control del saneamiento ambiental que genera contaminación de los recursos hídricos lo que crea escasez de la calidad de agua para los guatemaltecos.

La carencia en el manejo de cuencas produce deficiencias en la gestión de la calidad del agua que afecta así, la calidad de vida humana ya que la contaminación del agua genera enfermedades de tipo hídrico.

La gestión integrada del recurso hídrico (GIRH,) según la Organización Mundial del Agua está basada en los principios de Dublín: a) el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, b) participación de todos los involucrados y usuarios, c) la mujer juega un rol importante y d) el agua tiene un valor económico. "Estos contemplan la conservación y manejo del agua dentro de sistemas naturales con la integración de sistemas sociales como económicos y la manera en que estos afectan las demandas del recurso. Con la GIRH se

propone un desarrollo participativo de organizaciones jurídicas y sociales, para el beneficio de Guatemala.”¹

Para lograr que la gestión del agua en Guatemala sea adecuada es necesario realizar estudios de calidad de agua, basados en metodologías de caracterización de fuentes hídricas superficiales y subterráneas y crear un panorama en la formulación de planes para el manejo adecuado de cuencas. Partiendo del análisis de la calidad del agua se toma como base la microcuenca que forma el río Pansalic, para apoyar a la Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux en la planificación y propuesta de acciones que solucionen, prevengan y protejan los cuerpos de agua de la microcuenca.

¹ RIVERA RAMOS, Paris Francisco. *Análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic*. p. 33.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. ANTECEDENTES

La cordillera Alux es correspondiente al bosque húmedo montano bajo subtropical (Bh-Mb), esto marca el tipo de zona de vida al cual pertenece. La cordillera cuenta con clima templado, con época lluviosa, húmedo y estación seca. En el área se marcan únicamente dos épocas en el año: la época seca (noviembre-abril) y la época lluviosa (mayo-octubre) según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

El área total de la superficie de la cordillera Alux es de 5 372,00 hectáreas; área conformada por los municipios de Mixco, San Pedro Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala y los municipios de Santiago Sacatepéquez y San Lucas Sacatepéquez del departamento de Sacatepéquez.

“Dentro de la cordillera se encuentran 27 cursos de agua”² los cuales cubren una distancia total de 44 985 m. “Al oeste de San José Pacul y el Carrizal, nace el río Pansalic ubicado en el municipio de Mixco con las coordenadas: latitud 14°38’16”, longitud 90°36’35”, el río posee una longitud de 8 km. Este río forma parte del río Molino el cual se une al río Zapote para luego tributar con el Río Motagua.”³

² Consejo Nacional de Áreas Protegidas. *Plan maestro 2010-2014. Reserva forestal protectora de manantiales Cordillera Alux.* p. 10.

³ *Ibíd.*

En la Cordillera Alux existen 65 nacimientos de agua de los cuales 8 están ubicados en el municipio de Mixco.

Según el plan maestro 2010-2014 de la cordillera, los estudios realizados de la calidad del agua de los ríos muestran una excelente calidad química, biológica y física. Sin embargo, el agua de los ríos es contaminada por aguas residuales de zonas residenciales e industriales.

Los principales usos del agua son para abastecimiento de las poblaciones: agua entubada con un 70,9 %, pozo de agua propio 17,8 % y agua recolectada en toneles 11,3 %.

Debido a que las fuentes de agua no presentan una calidad óptima de captación, las principales enfermedades en los municipios relacionadas con la contaminación de fuentes de agua son las enfermedades gástricas.

“Se debe tomar en cuenta que los pobladores utilizan el agua para uso doméstico, riego y, una menor parte, para uso industrial.”⁴

Según Néstor Francisco Fajardo Herrera (Guatemala, noviembre 2011) la flora de la microcuenca está representada por coníferas y latifoliadas; dicho recurso disminuye principalmente por la deforestación y los incendios forestales; las especies de fauna silvestre están disminuyendo principalmente por la eliminación del hábitat debido al cambio del uso de la tierra, también por la cacería por parte de las poblaciones ubicadas dentro y fuera de la microcuenca.

⁴ Consejo Nacional de Áreas Protegidas. *Plan maestro 2010-2014. Reserva forestal protectora de manantiales Cordillera Alux.* p. 21.

El río Pansalic presenta un caudal de 0,1163 m³/s, el río Pancocha 0,1143 m³/s y la unión de los dos ríos 0,1224 m³/s, esto se debe a que el agua se embalsa producto de un basurero esto hace que el caudal sea amortiguado y el caudal de salida sea semejante al caudal de entrada. Los caudales máximos son reportados para los meses de junio y agosto, los meses de mayor precipitación pluvial; se reporta para el mes de abril el caudal mínimo del año hidrológico. "La microcuenca cuenta con una escorrentía de 405,88 mm y recarga hídrica aproximada de 220,24 mm anuales."⁵

Las causas de contaminación que afectan las fuentes de agua, son las siguientes: por causas antropogénicas se tiene la utilización de jabones en polvo por parte de una gran población dentro de las microcuencas, basura orgánica e inorgánica, uso del suelo para la agricultura de subsistencia y falta de protección a los nacimientos de agua. La población debe hacer uso de las letrinas o bien de los drenajes de las casas van a dar a los cauces de los ríos. De acuerdo con los parámetros fisicoquímicos determinados, estos se encontraron dentro del límite máximo aceptable y permisible de la norma COGUANOR de agua potable para consumo humano, sin embargo, los análisis microbiológicos según la misma norma, las aguas no son aptas para el consumo humano; ya que son dañinas para la salud y pueden causar enfermedades gastrointestinales.

En el mes de noviembre de 2013, en Guatemala fue publicada la tesis de postgrado de María José Ortega Sunuc, *Diagnóstico socioambiental y la propuesta de manejo integrado para la microcuenca del río Pansalic, Cordillera Alux, Mixco, Guatemala*. Que presenta las siguientes conclusiones:

⁵ FAJARDO HERRERA, Nestor Francisco. *Caracterización del recurso hídrico superficial y lineamientos de manejo de las microcuencas de los ríos Pansalic y Pancocha Mixco, Guatemala y servicios prestados al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN-*. p. 150.

Mediante la caracterización de los aspectos biofísicos, ambientales y socioeconómicos de la microcuenca del río Pansalic, se identificaron varios problemas de índole social, ambiental y de infraestructura, mismos que afectan a la microcuenca, entre ellos se encuentran: Deforestación, contaminación ambiental por desechos sólidos, contaminación atmosférica por emisiones industriales y de automotores, erosión de suelos, contaminación del agua superficial y subterránea por desechos sólidos y líquidos, tenencia de la tierra, crecimiento poblacional y expansión urbana desordenada, demanda de área para cultivos de subsistencia, avance de la frontera urbana, avance de la frontera agrícola, cambio de uso de la tierra, aprovechamiento ilícito de flora y fauna, escasa valoración de bienes y servicios naturales y ambientales, uso irracional de plaguicidas y fertilizantes y la escasa participación social.

Como en toda unidad productiva, la microcuenca del río Pansalic, con infinidad de interacciones antropogénicas y naturales; presenta diversidad de problemas por lo tanto, al diagnosticar los aspectos biofísicos, ambientales y socioeconómicos, se detectó que entre los problemas, con mayores efectos sobre la microcuenca es el alto crecimiento poblacional y la expansión urbana desordenada. Las causas de dicho problema radican, principalmente, en el manejo inadecuado de desechos sólidos y líquidos, el aumento en el cambio de uso de la tierra, la disminución de la calidad del aire, la escasa participación social y el incremento de la presión sobre los recursos naturales y ambientales. Y los efectos más importantes derivados del problema son: la contaminación ambiental (agua, suelo y aire), el aumento de conflictos socioambientales y el deterioro de los recursos naturales y ambientales.

La priorización de las categorías del plan de manejo integral para la microcuenca del río Pansalic se basó en el problema detectado en sus causas y efectos resultado del diagnóstico ambiental de la microcuenca; para lo cual, se

establecieron cuatro programas más: de fortalecimiento socioeconómico e institucional, el programa de infraestructura y servicios, el programa de manejo de recursos naturales y ambientales y el programa de diversificación agrícola. Cada programa se encuentra compuesto de subprogramas y éstos a su vez, de proyectos específicos que contribuirán a reducir, mejorar y solucionar la problemática encontrada en la microcuenca del río Pansalic; orientados a la educación y conciencia ambiental y planificación familiar, a la conservación, el uso y la explotación correcta de los recursos naturales y ambientales.

De acuerdo a en su informe de investigación del análisis de la riqueza, composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Pampumay y Pansalic-Pachiguaja, define lo siguiente:

- Los macroinvertebrados pueden distribuirse según los parámetros fisicoquímicos del agua, especialmente por las concentraciones de oxígeno disuelto y las cargas de nutrientes.
- La mayoría de familias pertenecientes al orden Díptera son grupos tolerantes a bajas concentraciones de oxígeno y alta carga de nutrientes y materia orgánica.
- Las familias de los órdenes Ephemeroptera y trichoptera se distribuyen únicamente en sitios donde las concentraciones de oxígeno son relativamente altas.
- Las familias Baetidae, Leptohiphyidae, Hydropsychidae, Psychodidae, Chironomidae, Tipulidae y Simuliidae se encuentran presentes en las épocas seca y lluviosa mostrando ciertas adaptaciones que les permiten sobrevivir a fuertes caudales.
- La riqueza y abundancia de familias de macroinvertebrados disminuye considerablemente en época lluviosa debido a que no poseen las

adaptaciones para sobrevivir al aumento en la velocidad de la corriente y el caudal.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Propiedades y generalidades del agua

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3 000 millones de años; ocupa tres cuartas partes de la superficie del planeta. Su naturaleza se compone de tres átomos: dos de hidrógeno y uno de oxígeno, que unidos entre sí forman una molécula de agua, (H₂O): la unidad mínima en que esta se puede encontrar como líquido incoloro, casi inodoro e insípido, esencial para la vida animal y vegetal y el más empleado como solvente.

La forma en que estas moléculas se unen entre sí determinará la forma en que se encuentra el agua en nuestro entorno: líquidos: lluvia, ríos, océanos, camanchaca, etc.; sólidos: témpanos y nieves o gas: nubes. El agua es un líquido incoloro, casi inodoro e insípido.

Gran parte del agua del planeta, alrededor del 98 %, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos, el agua dulce, en un 69 %, corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves eternas, un 30 % está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7 % se encuentra en forma de ríos y lagos.

Tabla I. **Distribución del agua en la Tierra**

Situación del agua	Volumen en km ³		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	De agua dulce	De agua salada
Océanos y mares	--	1 338 000 000	--	96,5
Casquetes y glaciares polares	24 064 000	--	68,7	1,74
Agua subterránea salada	--	12 870 000	--	0,94
Agua subterránea dulce	10 530 000	--	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300 000	--	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91 000	--	0,26	0,007
Lagos de agua salada	--	85 400	--	0,006
Humedad del suelo	16 500	--	0,05	0,001
Atmósfera	12 900	--	0,04	0,001

Fuente: RIVERA RAMOS, Paris Francisco. *Análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic*, p. 50.

Al analizar la tabla I se observar que mientras los océanos representan el mayor volumen, los ríos son un porcentaje muy bajo de la totalidad del agua disponible en el mundo. Sin embargo, el agua presente en los océanos no es apta para el consumo humano debido a la salinidad que contiene y su desalinización es un proceso costoso.

Su punto de congelamiento es 0 Celsius (32 F), su punto de ebullición 100 Celsius (212 F), su gravedad específica es de 1.000. La mayoría de las moléculas de agua tiene un peso molecular de 18. Sin embargo, puesto que el hidrógeno y el oxígeno tienen cada uno 3 isótopos, se sabe que el agua se presenta en condiciones normales o naturales ambientales, en uno de sus tres estados: solido, líquido y gaseoso, que las temperaturas de transformación de un estado en otro han sido tomadas como puntos estables o fijos.

2.2. Ciclo hidrológico

El agua es la sustancia más extensa que se encuentra en el ambiente natural. El agua existe en tres estados: líquido, sólido, y vapor invisible. Forma los océanos, los mares, los lagos, los ríos y las aguas subterráneas encontradas en las capas superiores de la corteza de la tierra y de la cubierta del suelo. En estado sólido, existe como el hielo y cubierta de la nieve en regiones polares y alpestres. Cierta cantidad de agua se contiene en el aire como vapor de agua, gotitas del agua y cristales de hielo, así como en la biósfera. Las cantidades enormes de agua en la composición de los diversos minerales de la corteza y de la base de tierra.

El agua sigue un movimiento permanente, constantemente cambiando de líquido a la fase sólida o gaseosa, y de regreso otra vez, donde por intervalos más cortos del tiempo, el volumen de agua almacenado en la hidrosfera variará como los intercambios del agua ocurren entre los océanos, la tierra y la atmósfera. Este intercambio generalmente se llama volumen de ventas del agua en la tierra, o ciclo hidrológico global.

El calor solar evapora el agua en el aire de la superficie de la tierra y en las masas de agua al mismo tiempo por la combustión o transpiración de los seres vivos. La tierra, los lagos, los ríos y los océanos envían encima de una corriente constante del vapor de agua extendiéndose por la superficie del planeta antes de precipitar como lluvia o nieve de nuevo. Esta porción de agua que supera estas fuerzas de cohesión y adhesión del suelo, se filtra hacia abajo saturándose para formar un depósito de agua subterránea el nivel friático.

Durante el proceso de precipitación, el agua que cae es la fuente principal de la formación de las aguas encontradas en tierra: ríos, lagos, agua

subterránea, glaciares. Al llegar a la superficie se divide en una porción de precipitación atmosférica que se evapora, algo penetra y carga el agua subterránea, mientras que el resto, como el flujo del río, regresa a los océanos donde se evapora: este proceso se repite varias veces.

Una porción considerable del flujo del río no alcanza el océano penetra en los suelos formando el nivel freático. El agua que se filtra en el suelo, llega hasta el agua superficial atraída por la gravedad para ser transpiradas por plantas por medio de sus raíces.

Estas son las fuentes principales del agua dulce para apoyar las necesidades de la vida y para servir en actividades económicas. El agua de río es de gran importancia en el ciclo hidrológico global y como fuente de agua para el humano. Estas fuentes se dividen o se clasifican de la siguiente manera:

2.2.1. Agua atmosférica

El agua que de una manera natural se condensa y que constituye en gran parte la humedad de las nubes y que después se precipita en forma de granizo, nieve y lluvia.

2.2.2. Agua superficial

Se refiere a la cantidad de agua de los lagos, ríos, pantanos, mares, lagunas, canales y océanos.

- Río

Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, los ríos son cuerpos de agua que pueden considerarse permanentemente mezclados y en la mayoría, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo.

- Partes del río

- Naciente: origen del río.
- Curso: distancia entre la naciente y la desembocadura.
- Curso superior: pendiente más pronunciada. Desplazamiento rápido de las aguas. Erosión en sentido vertical. Da lugar a valles en V.
- Curso medio: pendiente menos pronunciada, gran poder de transporte. Erosión horizontal, así el valle se ensancha.
- Curso inferior: pendiente suave, proceso de depositación ya que las aguas pierden fuerza.
- Cauce: cavidad por la que corre el agua.
- Desembocadura: espacio por el cual el río vierte sus aguas.
- Caudal: volumen de agua que lleva un río.
- Régimen: variación del caudal durante un año.
- Corriente: traslación continúa de las aguas de un río desde su naciente hasta su desembocadura.
- Cuenca: Área drenada por un río.

- Vertiente: declive del terreno en una misma dirección, hacia donde se desplazan las aguas.
 - Divisoria de aguas: línea que une los puntos más altos entre dos cuencas.
- Tipos de corrientes

- Perenne

Ríos de las regiones donde no existe un déficit de escurrimiento excesivamente largo. Incluso en las áreas donde llueve poco, pueden existir ríos con caudal permanente si existe una alimentación freática (es decir, de aguas subterráneas) suficiente. La mayoría de los ríos pueden experimentar cambios estacionales y diarios en su caudal, debido a las fluctuaciones de las características de la cobertura vegetal, de las precipitaciones y de otras variaciones del tiempo atmosférico: nubosidad, insolación, evaporación o evapotranspiración, etc.

- Intermitente

Ríos de zonas con clima tipo mediterráneo donde hay estaciones muy diferenciadas con inviernos húmedos y veranos secos.

- Efímeros

Ríos de zonas con clima desértico o seco, de caudal esporádico, en los cuales se puede estar sin precipitaciones durante años; debido a la poca frecuencia de las tormentas en zonas de clima de desierto. Pero cuando existen descargas de tormenta, muchas

veces son torrenciales, los ríos surgen rápidamente y a gran velocidad. Reciben el nombre de wadis o uadis, a los cauces casi siempre secos de las zonas desérticas, que pueden llegar a tener crecidas violentas y muy breves.

- Alóctonos

Ríos, generalmente de zonas áridas, cuyas aguas proceden de otras regiones (de ahí su nombre) más lluviosas.

2.2.3. Agua subterránea

Está formada por manantiales, pozos pocos profundos y profundos, galerías de infiltración y acuíferos. En otras palabras, esta interfase se da en la acumulación de agua por medio de los poros del suelo o rocas que se saturan de agua.

2.3. Cuenca

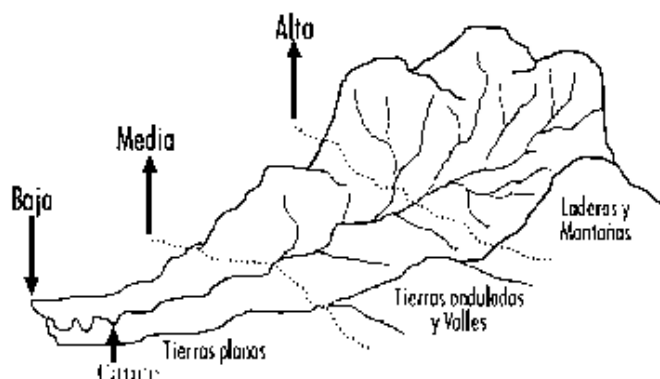
Una cuenca se refiere a un espacio de la tierra donde el agua que llega hacia esta, corre por un mismo río, hacia un lago o hacia el mar. Las cuencas hidrográficas son los espacios geográficos cuyos límites inician en las partes altas de las montañas, conocidos como parteaguas, y terminan en donde el agua de las precipitaciones que corre por un río principal llega al mar, lagos o embalses artificiales. También se conocen otras cuencas como las cuencas hidrológicas: áreas mucho más grandes que una cuenca hidrográfica, pues incluye toda el área hidrogeológica subterránea que abarca un manto acuífero. Una cuenca hidrológica puede incluir varias cuencas hidrográficas.

Las cuencas hidrográficas son utilizadas como unidades para la planificación territorial y se subdividen en áreas menores: subcuencas y microcuencas. La manera de hacer estas subdivisiones es por los distintos riachuelos que las conforma.

2.3.1. Partes de una cuenca

- Cuenca alta: corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente
- Cuenca media: la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido llevado por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.
- Cuenca baja: la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en la llana de cono de deyección.

Figura 1. Cuenca



Fuente: VILLODAS, Rubén. *Hidrología: guía de estudios para las cátedras: hidrología I y II, unidad 4, cuencas.* p. 145.

2.3.2. Microcuenca

Si bien el significado de cuenca hidrográfica es de conocimiento público, es importante remarcar la necesidad de considerar la microcuenca bajo un enfoque social, económico y operativo, además, del enfoque territorial e hidrológico tradicionalmente utilizado. De esta manera, la microcuenca se define como una pequeña unidad geográfica donde vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación.

Desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser planificada mediante la utilización de recursos locales y un número de familias que puede ser tratado como un núcleo social que comparte intereses comunes (agua, servicios básicos, Infraestructura, organización, entre otros.).

Cabe destacar que en la microcuenca ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (relacionados a los bienes y servicios producidos en su área), sociales (asociados a los patrones de comportamiento de las poblaciones usuarias directas e indirectas de los recursos de la cuenca) y ambientales (vinculados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores). Por tal razón, la planificación del uso y manejo de los distintos recursos en la microcuenca debe considerar todas estas interacciones.

2.4. Usos del agua

El agua es el recurso más abundante de la Tierra. Esta es una afirmación muy conocida; el agua ocupa las dos terceras partes del planeta tierra.

El consumo doméstico alcanza aproximadamente el 10 % y la industria el 21 %. Además, el agua es el mayor componente del cuerpo de todos los seres vivos.

2.4.1. Uso humano o doméstico

El consumo doméstico alcanza aproximadamente el 10 % de consumo en las actividades del quehacer cotidiano de las personas, también, para las plantas y los animales. Los diferentes usos en el hogar son: beber, bañarse, cepillar los dientes, lavar la cabeza, preparar los alimentos, lavar las ropas, limpiar la casa, regar las plantas, fregar los platos, descargar el inodoro, lavar los automóviles, etc.

2.4.2. Uso industrial

Es utilizada en proceso de plantas industriales como materia prima hasta un producto terminado para su comercialización. A nivel industrial está presente y se utiliza como materia prima, generación de vapor por medio de calderas, lavado, intercambiadores de calor, refrigerantes, refrigeración, calefacción en procesos térmicos, destilerías de petróleo, refinerías, industrias petroquímicas, mataderos, curtiembres, lavaderos de lana, industrias lácteas etc.

2.4.3. Uso público

Es el agua que se consume en lugares públicos: bebederos, oasis, para mantener en los sistemas contra incendios de cualquier entidad pública, fuentes e higiene para toda una población.

2.4.4. Uso agrícola

La agricultura es obviamente el sector que consume más agua, representa globalmente alrededor del 69 % de toda la extracción. El riego consume la mayor parte del agua que se extrae (frecuentemente la mitad o más) como resultado de la evaporación, incorporación a los tejidos de las plantas y transpiración de los cultivos.

La otra mitad recarga el agua subterránea, fluye superficialmente o se pierde como evaporación no productiva.

2.4.5. Uso recreativo

Dentro de las actividades recreativas o lúdicas relacionadas con el agua se consideran: el golf, el esquí, los deportes de aventura, la navegación recreativa y la pesca. El uso del agua que hacen es diverso y también su consideración legal; por ejemplo el golf y el esquí requieren concesión y son asimilables a otros usos privativos; otros de uso común especial, como la navegación y que está sujeto a declaración responsable; y están también los que requieren legislación específica como la pesca o los usos comunes como el baño. Además, existe un uso estético y paisajístico de la naturaleza en el cual los ecosistemas acuáticos tienen una especial relevancia.

2.5. Contaminación de fuentes y aguas superficiales

El agua es un elemento esencial para la vida, sin la cual el hombre no podría existir. Toda población o comunidad ha buscado asentamiento cerca de una fuente de agua.

Las fuentes de agua, aunque disponibles en mayor o menor cantidad, han sido contaminadas gradualmente y fueron las causantes de muchas epidemias que diezmaron ciudades enteras en la antigüedad. El hombre tardó bastante tiempo en darse cuenta de que el agua que consumiera era la causante de muchas enfermedades y hasta finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX empezó a implementar procesos para tratar y desinfectar el agua que consumía.

A medida que la humanidad continúa su desarrollo las descargas de aguas residuales domésticas e industriales empezaron a contaminar los recursos hídricos, a deteriorar los ecosistemas, etc. Por lo cual como se hizo necesario implementar los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población. Por esta razón, la calidad del agua es la rama de la ingeniería que pretende:

- Diagnosticar los problemas relacionados con la calidad del agua.
- Relacionar los problemas de calidad con los diferentes usos deseables del agua.
- Juzgar que variables de calidad del agua se necesitan controlar los medios o recursos disponibles para hacerlo.

2.5.1. Agua superficial

Esta interfase se refiere a la cantidad de agua contenida en los ríos, lagos, lagunas y ciénagas. Las aguas superficiales son las que el hombre utiliza para desarrollar sus funciones básicas, desafortunadamente son las que se

encuentran más contaminadas debido a que reciben directamente las descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento.

2.5.2. Agua cruda

El termino agua cruda se refiere al agua que se encuentra en el ambiente, que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado natural.

2.5.3. Aguas residuales

Se define agua residual como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales.

2.5.4. Contaminación hídrica

Se produce cuando los contaminantes se vierten directa o indirectamente en los cuerpos de agua. La afectación del líquido puede ser evidente cuando hay basura en la superficie, cuando su color es más oscuro de lo normal y cuando tiene un olor desagradable.

En ocasiones es difícil percibir la contaminación hídrica. Por ende, existen diversas técnicas para comprobar la calidad del agua y medir el nivel de contaminantes. Es importante recordar que no toda agua clara es limpia.

2.6. Gestión integral del recurso hídrico (GIRH)

Implica reconocer y tener en cuenta las funciones que cumple el agua en un territorio. Según la asociación mundial del agua (GWP, *Global Water Partnership*), la GIRH es un proceso que promueve la coordinación y manejo de agua, tierra y recursos relacionados, para maximizar el bienestar económico y social en una manera justa sin afectar los ecosistemas vitales.

- Con la implementación de la GIRH se pueden lograr tres objetivos claves:
 - La eficiencia económica en el uso del agua.
 - La equidad, en la cual todos tienen el derecho al acceso al agua de adecuada calidad y cantidad.
 - La sostenibilidad ambiental.

Para lograr estos objetivos y satisfacer los requerimientos sociales, económicos y ambientales, dependientes del recurso hídrico, la GIRH se apoya en tres elementos importantes.

- Un ambiente facilitador; el marco general de las políticas nacionales, legislaciones y regulaciones y la información de la GIRH para los interesados.
- Los roles institucionales; que son las funciones de varios niveles administrativos e interesados.
- Los instrumentos de gestión; que son herramientas operacionales para una regulación efectiva, monitoreo y cumplimiento que permite a los

gestores de política realizar elecciones informadas entre diferentes opciones de acción.

- Estas elecciones deben basarse en políticas acordadas, recursos disponibles, impactos ambientales y consecuencias sociales y económicas. Entre las funciones que debe tener un estado para una buena GIRH está la evaluación y medición del recurso hídrico, la regulación en el uso del recurso hídrico y de los servicios asociados al recurso, la conservación y protección del recurso a través del sistema de evaluación de impacto ambiental, propiciar la satisfacción de los requerimientos básicos de los sectores más pobres de la población, la promoción y apoyo de obras de riego y grandes obras hidráulicas de interés, las cuales debido a su magnitud o su complejidad, no son factibles de asumir por los sectores privados.

2.7. Amenaza para el recurso hídrico

La amenaza es la probabilidad de que un fenómeno de origen natural o causado por el hombre pueda producir daños, en este caso a los recursos hídricos. Por lo tanto, amenaza es el sinónimo de peligro. Las amenazas, según su origen, se clasifican en naturales y antrópicas; las naturales tienen su origen en la dinámica propia de la tierra: deslizamientos, derrumbes, sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, erosión, fuertes lluvias y falta de lluvias; las antrópicas, ocasionadas directamente por la acción del hombre: explosiones, incendios, accidentes aéreos, accidentes de tráfico y conflictos sociales.

La amenaza para el recurso hídrico la representan todos aquellos factores que hacen que el agua sufra algún deterioro en su estado original. Este

deterioro amenaza seriamente la disponibilidad del recurso hídrico a futuro, que se manifiesta en problemas de calidad, cantidad y en la afección de ecosistemas. “Enfocando la amenaza a los problemas la microcuenca del río Pansalic y enfocado directamente al abastecimiento humano; las principales amenazas los recursos hídricos son la escasez de agua y la contaminación, que afectar los distintos usos da recurso.”⁶

2.7.1. Amenaza por escasez

La escasez de agua es su falta para cualquier uso; es de mayor importancia en el abastecimiento y consumo humano. La falta del recurso se debe a múltiples factores: la reducción y variación del agua de lluvia, la evaporación excesiva, la degradación de la permeabilidad de la tierra y la contaminación. El aumento de las necesidades de la población frente a una disponibilidad limitada de la cantidad de agua tendrá como resultado muchos problemas y los conflictos para los sectores menos favorecidos. “La escasez se considera entonces relativa, pues se puede producir por varias razones, provocando efectos como: disminución de agua en calidad y cantidad, desaparición de bosques, contaminación, cambio climático y agotamiento de agua subterránea.”⁷

⁶ RIVERA RAMOS, Paris Francisco. *Análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic, Mixco, Guatemala.* p. 23.

⁷ Ibid.

2.7.2. Amenaza de contaminación hídrica

“La contaminación es lo que causa algún tipo de deterioro a un sistema, introduciendo agentes a un medio al que no pertenecen; así como la modificación indeseable de la composición natural de un medio o sistema.”⁸

La contaminación hídrica se da en los ríos, lagos y agua subterránea. “Entre las formas de contaminación de ríos se pueden mencionar: la difusa, cuando la escorrentía y la infiltración transporta contaminantes provenientes de basureros a los ríos; la puntual: se da por las descargas de agua residual directamente en un punto en cuerpo de agua. Dadas las formas de contaminación se producen consecuencias como la formación de bacterias transmisores de enfermedades, mal olor, malestar y descontento del usuario, aparte de convertir el lugar poco agradable y deteriorar el ecosistema afectando al sistema socioeconómico y natural al cual sirve.”⁹

2.8. Vulnerabilidad del recurso hídrico

La vulnerabilidad es el grado de debilidad física, económica, ambiental o social ante la amenaza y la impotencia de una comunidad para enfrentarla. Una población es vulnerable cuando no cuenta con los recursos necesarios para satisfacer las necesidades básicas del ser humano, como la alimentación, la vivienda, los servicios de salud y el agua potable. Esta situación está en función de la capacidad de respuesta individual o colectiva frente a una situación determinada.

⁸ ALBERT, Lilia A.; LÓPEZ MORENO, Sergio; FLORES Julio. *Diccionario de la contaminación*. p. 12.

⁹ RIVERA RAMOS, Paris Francisco. *Análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic, Mixco, Guatemala*. p. 63.

La vulnerabilidad del recurso hídrico es todo aquel factor que hace propenso a un cuerpo de agua a sufrir algún tipo de deterioro. Existen varios tipos de vulnerabilidades; en este estudio se trata de enfocar las vulnerabilidades principales que pueden llevar al recurso a la contaminación.

2.9. Riesgo para el recurso hídrico

El riesgo es la posibilidad de que ocurran daños económicos, sociales o ambientales en un sitio particular. El riesgo es entonces contingencia o proximidad de un daño, con inseguridad y peligro, pudiendo definirse como la posibilidad de que ocurra un daño.

El riesgo es dinámico, cambiante y de carácter social, ya que surgen de la interacción de la sociedad con el medio ambiente. Se ubica en el futuro y es posible, no seguro que ocurra. Puede causar pérdidas y los efectos potenciales cambian a lo largo del tiempo. Está sujeto a una vulnerabilidad y depende de un peligro específico (amenaza).

Los factores del riesgo son las características o circunstancias que contribuyen a que se presente un daño. La amenaza es un factor externo del riesgo, representado por la potencial ocurrencia de un fenómeno de origen natural o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo de exposición determinado, por ejemplo, la sequía y la contaminación. La vulnerabilidad es un factor interno del riesgo, y depende de su disposición específica el ser afectado por la amenaza. La evaluación del riesgo (R) es el resultado de relacionar la amenaza (A) y la vulnerabilidad (V) de los elementos expuestos, con el fin de determinar las consecuencias del evento.

El resultado de los factores de riesgo investigados, las amenazas y las vulnerabilidades, apoyado en un diagnóstico del sitio en estudio, dará como resultado el riesgo del recurso hídrico.

$$R = A * V$$

El riesgo para el recurso hídrico es la posibilidad de que sufra algún deterioro o pérdida provocado por factores externos e internos, la combinación de las amenazas y la vulnerabilidad; como la escasez del recurso o el grado de contaminación que tiene los recursos hídricos.

2.10. Acuerdo Gubernativo 236-2006, reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos

El control de la calidad de agua es de suma importancia; para su determinación se pueden destacar análisis de tipo físico, químico y bacteriológico, para tales efectos, el examen se compara con el Acuerdo gubernativo 236-2006. Estos a su vez, tienen asociados valores cualitativos y cuantitativos que deben estar comprendidos entre los límites que el estudio y la experiencia han encontrado necesarios y tolerantes, para la calidad de aguas residuales descargas a cuerpos receptores.

En el artículo 20 del acuerdo gubernativo 236-2006 se especifican los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, respecto a este artículo se estará trabajando los parámetros para la determinación de la calidad del agua del río PANSALIC.

2.11. Procedimiento para tratar aguas contaminadas

“El tipo de fuente u origen del agua es necesario saberlo para establecer o decidir qué proceso de tratamiento se utilizará o instalará en una región determinada. La intensidad del tratamiento dependerá del grado de contaminación se presenta en la fuente de origen. En caso se encuentre contaminada, es especialmente importante que el proceso o el tratamiento que se aplique se instalen múltiples barreras a difusión del organismo patógeno, garantizando un alto grado de protección.”¹⁰

2.12. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos

Los parámetros son características o propiedades que el medio natural o antrópico puede transmitir al agua, definiendo de esta forma alteraciones o condiciones de uso. Los parámetros pueden agruparse en: físicos, químicos y biológicos.

2.12.1. Análisis físico

Se relaciona con la medición y registro de las propiedades organolépticas que pueden ser observadas por los sentidos lo cual se hace uso de ciertos parámetros que permiten tener un juicio acertado de la calidad del agua.

- Parámetros físicos
 - Temperatura: parámetro que mide el calor en el agua; es muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y

¹⁰ RIVERA RAMOS, Paris Francisco. *Análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic, Mixco, Guatemala.* p. 45.

las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos.

- Color: el color en el agua es generalmente ocasionado por la extracción de la materia colorante derivado de hojas, semillas y otras sustancias similares en forma de humos desde los bosques o de la materia vegetal de los pantanos y áreas de poca profundidad; algunas veces es causado por la presencia de coloidales del hierro o magnesio combinado con materia orgánica y descargas de desechos industriales. El color verdadero del agua se debe a la presencia de materiales en solución, pero puede cambiar a un color aparente por el efecto de partículas que están en suspensión. Principalmente, el color se encuentra en las aguas superficiales o en algunos pozos poco profundo y manantiales; las aguas de pozos profundos son incoloras. Lo contrario con las aguas demasiado coloreadas que son de mayor uso a nivel industrial en algunos procesos y frecuentemente no son aptas para una medida de la eficiencia del proceso de la planta o alimentación en calderas.
- Olor: esta característica física se debe a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles algunos de los cuales se producen cuando se descomponen la materia orgánica. Algunos tipos de microorganismos y compuestos son químicos volátiles. La intensidad y lo ofensivo de los olores varia con el tipo; algunas son a tierra y moho mientras que otros son putrefactos. En la mayoría de los casos, los olores indeseables en las aguas superficiales son producidos por el plancton, organismo que desprende

pequeños vestigios de aceites esenciales volátiles que contribuyen a que el agua tenga olores dulzores y aromáticos.

Los olores desagradables convierten a las aguas en no aptas para muchos procesos industriales; al mismo tiempo, las vuelven intolerables en bebidas y productos alimenticios y se objetan, también, en materia prima como el papel, telas o textiles y otros procesos que el olor es básico para un producto terminado.

- Turbidez: es la medida de la opacidad del agua comparada con ciertos estándares establecidos o se debe a la dispersión de interferencias de los rayos luminosos que pasan a través de la misma como resultados de la presencia de materia orgánica e inorgánica finamente dividida.

La medida de la turbiedad es importante, ya que permite evaluar la eficiencia de los procesos de coagulación y filtración que realizan las plantas de tratamiento de agua. Cualquier impureza soluble finamente dividida en forma coloidal, cualquiera que sea su naturaleza, suspendida en el agua y que disminuya su claridad.

- pH: significa el potencial de hidrógeno y se define arbitrariamente y por comodidad como el logaritmo de base diez del inverso de la concentración del ion hidrogeno (H^+) y se emplea para expresar el comportamiento del ion hidrógeno. La mayoría de las aguas naturales tiene un valor de pH 5,5-8,6 grados, en una escala de 14 grados, para la cual un pH de 7 en el agua refleja neutralidad. Y para un pH de 7 para arriba representa alcalinidad y lo contrario indica acidez. La alteración excesiva fuera de estos límites puede indicar contaminación del abastecimiento de agua por algún

desecho de tipo industrial. Los límites máximos permisibles aceptables son 6,5 – 8,5 grados y límites máximos permisibles son 6,5- 9,2 grados.

- Sólidos totales: son aquellos residuos de materia sólida, orgánica e inorgánica, contenidos en el agua que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su posterior secado en estufa a temperatura definida (103-105 °C).
- Sólidos fijos y volátiles: los sólidos fijos son aquellos residuos de los sólidos totales, suspendidos o disueltos después de someterse a ignición durante un tiempo determinado y a una temperatura especificada (550 °C). La pérdida de peso por ignición se debe a los sólidos volátiles.
- Sólidos suspendidos totales: fracción de sólidos totales retenida sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica (103-105 °C).
- Conductividad eléctrica: la conductividad eléctrica del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales.

2.12.2. Análisis químico

Mediante este análisis es posible determinar las cantidades de materia mineral y orgánica presentes en el agua y que pueden afectar su calidad. El análisis químico desde el punto de vista de la potabilidad del agua se hace por dos razones.

Para determinar si la concentración de los constituyentes químicos está conforme a las normas y para determinar la presencia de productos del nitrógeno y relacionarlo con la contaminación de materia orgánica, amoníaco, nitritos (que indican oxidación bacteriana de la materia orgánica) y nitratos (que indica que la materia orgánica ha sido mineralizada).

- Parámetros químicos
 - Demanda bioquímica de oxígeno: se utiliza como una medida del oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica de las aguas. La demanda bioquímica de oxígeno, DBO, se considera una prueba empírica con procedimientos estandarizados de laboratorio para aguas residuales, efluentes y contaminadas; determinando el oxígeno utilizado durante un período de incubación especificado para: a) la degradación bioquímica de la materia orgánica; b) oxidar la materia orgánica, como los sulfuros o el ion ferroso; y c) oxidar las formas reducidas de nitrógeno, a menos que se impida la reacción por medio de un inhibidor.
 - Demanda química de oxígeno: se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte.

- Oxígeno disuelto: los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. Además, es función de la temperatura, la presión y la concentración salina; al respecto, existen en la literatura tablas que presentan valores de oxígeno disuelto a diferentes temperaturas y distintas concentraciones de cloruros.
- Oxígeno consumido: es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar materiales inestables, en una muestra de agua, por medio de permanganato de potasio en una solución ácida. La determinación del oxígeno consumido ha sido ampliamente reemplazada por la demanda bioquímica de oxígeno, porque no brinda resultados comparables con los obtenidos por procesos de oxidación biológica que ocurren de forma natural; sin embargo, tiene la ventaja de que los resultados pueden obtenerse en alrededor de una hora mientras que la DBO requiere cinco días por lo menos. Por otro lado, debido a que el permanganato de potasio es selectivo al reaccionar y ataca a los compuestos carbonados y nitrogenados, los resultados serán diferentes a los obtenidos por la metodología de la DBO.
- Nitrógeno total: suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, nitritos y nitratos. Representa el conjunto de las formas de nitrógeno reducidas orgánicas y amoniacales y no la totalidad del nitrógeno (se refiere al resultado de determinar todo el nitrógeno presente en el agua, a excepción de los nitritos y nitratos); el nitrógeno puede existir también en forma de nitrógeno nitroso y nítrico independientemente del nitrógeno gaseoso (forma

neutra); incluye principalmente el nitrógeno amoniacal y el orgánico, constituido éste último por proteínas, polipéptidos y aminoácidos.

El nitrógeno encontrado en las aguas superficiales puede provenir de los efluentes domésticos o industriales, así como del lavado de suelos enriquecidos con abonos nitrogenados.

- Fósforo total: la concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales; un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de las aguas. Así, los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación coagulación en las plantas de tratamiento.
- Cianuro total: es la suma de los cianuros orgánicos, iones de cianuro libre, complejos cianurados y cianuro ligado a metales simples (excepto el cianuro en complejos de cobalto), pero no incluye a los tiocianatos (SCN^-). La determinación de cianuro total en una muestra se realiza aspirando un volumen reducido de la misma (2 mL) y sometiénolo a una digestión automática en medio ácido asistida por una luz UV-B, lo que evita la conversión del tiocianato en cianuro, pero asegurando que el cianuro total esté como cianuro de hidrógeno (HCN).

- Arsénico: representa una amenaza importante para la salud pública cuando se encuentra en aguas subterráneas contaminadas. El arsénico inorgánico está naturalmente presente en altos niveles en las aguas subterráneas.
- Cadmio: el ambiente, el cadmio generalmente está presente como un mineral combinado con otros elementos. Los más comunes son los complejos con óxidos, sulfuros y carbonatos en minerales de zinc, plomo y cobre, mientras que los complejos con cloruros y sulfatos son menos comunes. El tipo al que pertenece el compuesto de cadmio influye en su solubilidad en el agua. En general, los cloruros y sulfatos de cadmio son más solubles en el agua que otras formas. En el suelo, la solubilidad del cadmio también varía con la forma: desde ligeramente soluble (sulfuros) hasta moderadamente soluble (sulfatos) y altamente soluble (carbonatos).

2.12.3. Análisis bacteriológico

El agua debe estar exenta de gérmenes patógenos de origen entérico y parasitario intestinal que pueden transmitir enfermedades. Las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus o protozoarios patógenos son el riesgo para la salud común y difundida que lleva consigo el agua bebida. El agua tratada o sin tratar que circula por un sistema de distribución no debe contener ningún microorganismo que pueda ser de origen fecal. Los principales organismos indicadores de contaminación fecal son: *Escherichia Coli*, las bacterias termo resistentes y otras bacterias coliformes, los estreptococos fecales y las esporas de clostridia reductores del sulfito. La presencia de gérmenes del grupo coliforme definido, como a continuación se indica, ha de

considerarse como un indicio de contaminación fecal más o menos reciente. La presencia de *Escherichia Coli* debe considerarse como indicio seguro de contaminación fecal reciente y, por tanto, peligrosa que exige la aplicación de medidas urgentes.

- Parámetro bacteriológico
 - Características de grupo coliforme
 - Bacilos aeróbicos o anaeróbicos facultativos
 - No esporulados
 - Gram. – negativos

Fermentan la lactosa con producción de ácido y gas de 24 a 28 horas a las temperaturas siguientes.

- 35 +/- 0.2a.C. Para el grupo coliforme total
- +/- 0.5a.C. Para el grupo coliforme fecal

3. DISEÑO METODOLÓGICO

La toma de muestras del proyecto se llevó a cabo en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala. Las áreas que se verificaron fueron las partes alta, media y baja del río Pansalic, por lo tanto se utilizó la siguiente instalación:

- Laboratorio de EMPAGUA, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.

- Variables

- Dependientes

- ✓ Temperatura
- ✓ pH
- ✓ DBO
- ✓ DQO
- ✓ Aceites y grasas
- ✓ Nitrógeno total
- ✓ Fósforo total
- ✓ Cianuro total
- ✓ Arsénico
- ✓ Coliformes fecales
- ✓ Materia flotante
- ✓ Sólidos suspendidos totales
- ✓ Cadmio
- ✓ Arsénico

- ✓ Cianuro
- ✓ Cromo VI
- ✓ Cobre
- ✓ Mercurio
- ✓ Níquel
- ✓ Plomo
- ✓ Zinc

- Independientes

- ✓ Caudal
- ✓ Precipitación
- ✓ Meses de toma de muestras
- ✓ Descargas residuales
- ✓ Desechos solidos

- Delimitación del campo de estudio

El área de estudio es la microcuenca del río Pansalic, ubicada en el municipio de Mixco del departamento de Guatemala, con coordenadas geográficas: latitud 14°38'16", longitud 90°36'35".

- Recursos humanos disponibles

- Investigador: María José García Canet
- Asesor: Ing. Nicolás Guzmán
- Técnico: David Illescas
- Laboratorista: Ing. Mario Estrada
- Auxiliar de investigador: Emilio Wong

- Recursos materiales disponibles
 - Envases para la recolección de la muestra: frascos estériles de 1 gal.
 - Hieleras de plástico o de otro material aislante con tapa.
 - Bolsas refrigerantes o bolsas de plástico impermeables con hielo cerradas.
 - Solución de alcohol etílico al 70 %.
 - Gasas o algodón, estériles.
 - Bastón para muestreo de agua.
 - Bata, cofia, mascarilla y guantes estériles desechables.
 - Marcadores indelebles.
 - Termómetro.
 - Medidor de pH.
 - Medidor de oxígeno disuelto.
 - Botas de hule.

- Técnica cualitativa y cuantitativa

- Metodología experimental

- Selección de área de muestreo

Se realizó basado en los objetivos planteados en este informe. Se estudiaron 3 puntos, seleccionados por criterio e interés de la cordillera Alux; los puntos fueron al inicio de la microcuenca, a la mitad y al final de la microcuenca del río Pansalic, del municipio de Mixco, del departamento de Guatemala. De esta manera se recolectaron muestras

representativas para determinar 12 parámetros de calidad del agua.

- Recolección y ordenamiento de la información
 - En captación de un cuerpo de agua superficial
 - ✓ Lavarse las manos y antebrazos con agua, jabón; y alcohol; colocarse cofia, mascarilla y guantes estériles.
 - ✓ Desprender y eliminar el sello de seguridad de las bolsas estériles (para análisis microbiológico).
 - ✓ Sumergir la bolsa en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, abrir la bolsa y a continuación girar la bolsa ligeramente permitiendo el llenado (en todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción); si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca de la bolsa a contracorriente. Efectuada la toma de muestra cerrar la bolsa bajo el agua; posteriormente, sellarla fuera del agua.

3.1.1. Identificación y conservación de la muestra

- Asegurar que cada muestra, esté identificada correctamente mediante un rótulo o etiqueta indeleble.
- Para la conservación de la muestra, es recomendable el empleo de recipientes con gel refrigerante; en caso de utilizar hielo potable, empacarlo en bolsas de plástico impermeables para minimizar la posibilidad de contaminación cruzada.

Tabla II. **Parámetros físicos**

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles	Contenido real
Color	Unidad platino cobalto	1 000	
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	
Turbiedad	-----	-----	
pH			

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Parámetros químicos**

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles	Contenido real
DBO	Carga, kilogramos por día	3000 ≤EG< 5500	
DQO	Carga, kilogramos por día	3000	
Nitrógeno total	Miligramos por litro	50	
Fósforo total	Miligramos por litro	30	
Arsénico	Miligramos por litro	0,1	
Cadmio	Miligramos por litro	0,1	
Cianuro total	Miligramos por litro	1	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Parámetros bacteriológicos**

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles	Contenido real
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$<1 \times 10^4$	

Fuente: elaboración propia.

- Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

- Periodicidad de muestreo

Para cada sitio de muestreo, se recolectaron una muestra para el análisis fisicoquímico y una para el análisis bacteriológico. Este procedimiento se repitió una vez al mes durante dos meses por cada sitio, un mes de época lluviosa y un mes de época seca: un total de nueve tomas.

- Tipo de muestras

- Fisicoquímicas

Se recolectaron muestras con recipientes de plástico de 3 litros de capacidad, previamente esterilizados, para posteriormente determinar la temperatura y cloro residual. Antes de tomar la muestra, se lava el recipiente tres veces y se llena a su capacidad previamente identificada, procediendo a anotar los datos del lugar, coordenadas geográficas, hora, temperatura. Luego se trasladan a la hielera para su refrigeración, hasta llevarlos al Laboratorio del Instituto de Fomento Municipal –INFOM-

- Bacteriológico

Se recolectaron las muestras en envase de 3 litros de capacidad con tapón esmerilado, que se será esterilizado previamente en un horno a una temperatura aproximada de 160 Celsius, durante media hora y se cubre con una capucha como protección elaborada con papel kraft. En los lugares donde se muestreará se practicará la técnica de flamenco con mechero de alcohol para evitar una contaminación ajena a la muestra de agua y así evitar muestras no representativas.
- Métodos y análisis que se deberán realizar
 - Análisis físico
 - Color
 - Temperatura
 - Turbiedad
 - pH
 - Materia flotante
 - Solidos suspendidos totales
 - Análisis químico
 - DQO
 - DBO
 - Nitrógeno total
 - Fosforo total
 - Arsénico
 - Cadmio

- Cianuro total
- Oxígeno disuelto
- Análisis bacteriológico
 - Contenido de coliformes fecales
 - Contenido de coliformes totales

Los métodos de examen y análisis realizados en cada muestra para obtener resultados físicos, químicos y bacteriológicos son establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICION DE LODOS”. Se implementó la metodología del índice de calidad del agua para determinar la calidad del río, por otro lado se aplicó el método de aforo por flotador para poder medir el caudal del río en los tres diferentes puntos, graficándolos en un mapa con coordenadas que incluye el índice de calidad. Las descargas directas al río se determinaron a través de un recorrido por el río, realizando inspección visual.

- Análisis estadístico

Se analizaron específicamente medidas de tendencia central.

- Parámetros experimentales

Color, temperatura, turbiedad, pH, DBO, DQO, nitrógeno total, fosforo total, arsénico, cadmio, oxígeno disuelto, cianuro total.

- Parámetros de respuesta
Propiedades fisicoquímicas, composición química y composición biológica. Con estos parámetros se espera obtener:
 - Los parámetros adecuados para determinar la calidad del agua.
 - Plantear una solución para la disminución de la contaminación del río.
 - La relación entre el DBO y DQO con el oxígeno disuelto para determinar si este puede ser tratado biológicamente.
 - El índice de contaminación del río.
 - La cantidad de oxígeno disuelto en el río Pansalic.

- Plan de análisis de resultados
 - Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

- Objetivo específico 1

Determinar las principales causas de contaminación en el río Pansalic dentro de la microcuenca de la Cordillera Alux.

- Se tomarán muestras del agua del río en tres puntos para obtener los parámetros de contaminación.

- Objetivo específico 2

Determinar la calidad de agua del río Pansalic de acuerdo a 10 parámetros establecidos en el reglamento 236-2006 en 3 puntos a lo largo del río.

- Se realizará el estudio de laboratorio para verificar que se cumplan los límites máximos permisibles de cada parámetro.
- Objetivo específico 3: identificar las descargas de aguas residuales puntuales que contaminan al río y sus coordenadas geográficas donde inicia la contaminación.
 - A través del recorrido de reconocimiento del área se marcarán puntos georreferenciales en cada punto de descarga de aguas residuales.

3.1.2. Programas para el análisis de datos

Se utilizó el complemento de análisis estadístico del programa Microsoft Excel 2010 por su amplia aplicación en el manejo de datos numéricos ya que presenta la ventaja de poder realizar en una hoja de cálculo el análisis de varianza de los parámetros medidos en la presente investigación. Para la realización de la ubicación de los puntos georreferenciados de los desfuegos, se utilizó el programa Qgis junto con Google Earth, ya que es un sistema de georreferencia en el cual se pueden realizar los mapas con datos actuales del municipio a trabajar y por la facilidad de enlazar ambos programas para obtener los datos necesarios.

4. RESULTADOS

4.1. Primer mes de muestreo, parte baja del río Pansalic

Tabla V. Resultados, parte baja 28 de octubre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3000 ≤EG< 5500	30
2	DQO	Mg/L DQO	3000	80
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,9
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	7,4
5	Color	Unidades Pt-Co	1,000	140
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	96
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,1
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	21
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente

ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4,6x10 ⁷
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4,6x10 ⁷

Fuente: elaboración propia.

4.2. Primer mes de muestreo, parte media del río Pansalic

Tabla VI. Resultados, parte media 28 de octubre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	<10
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	20
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,2
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	4,9
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	120
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	84
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,4
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	22
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4,6x10 ⁵
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4,6x10 ⁵

Fuente: elaboración propia.

4.3. Primer mes de muestreo, parte alta del río Pansalic

Tabla VII. Resultados, parte alta 28 de octubre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	<10
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	10
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,3
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	6,3
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	70
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	78
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,6
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	22
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros Bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,3x10 ⁵
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,3x10 ⁵

Fuente: elaboración propia.

4.4. Segundo mes de muestreo, parte baja del río Pansalic

Tabla VIII. Resultados, parte baja 10 de noviembre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	20
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	65
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,8
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	7,5
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	57
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	46
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	6,8
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	21
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,4x10 ⁸
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,4x10 ⁸

Fuente: elaboración propia.

4.5. Segundo mes de muestreo, parte media del río Pansalic

Tabla IX. Resultados, parte media 10 de noviembre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	<10
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	20
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,2
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	5,8
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	68
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	53
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,2
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	21
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,4x10 ⁵
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,4x10 ⁵

Fuente: elaboración propia.

4.6. Segundo mes de muestreo, parte alta del río Pansalic

Tabla X. Resultados, parte alta 10 de noviembre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapas	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	<10
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	20
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,1
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	6,1
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	31
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	44
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,3
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	21
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapas	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4,3x10 ⁴
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4,3x10 ⁴

Fuente: elaboración propia.

4.7. Tercer mes de muestreo, parte baja del río Pansalic

Tabla XI. Resultados, parte baja 25 de noviembre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapas	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	30
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	90
3	Fósforo total	Mg/L P	75	1,1
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	9,3
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	150
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	100
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,6
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	219
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapas	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,1x10 ⁸
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,1x10 ⁸

Fuente: elaboración propia.

4.8. Tercer mes de muestreo, parte media del río Pansalic

Tabla XII. Resultados, parte media 25 de noviembre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	<10
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	15
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,2
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	4,9
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	100
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	63
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,7
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	19
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4x10 ⁴
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	4x10 ⁴

Fuente: elaboración propia.

4.9. Tercer mes de muestreo, parte alta del río Pansalic

Tabla XIII. Resultados, parte alta 25 de noviembre de 2015

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	DBO ₅	Mg/L DBO ₅	3 000 ≤EG< 5 500	<10
2	DQO	Mg/L DQO	3 000	10
3	Fósforo total	Mg/L P	75	0,2
4	Nitrógeno total	Mg/L N	100	6,3
5	Color	Unidades Pt-Co	1 000	61
6	Sólidos en suspensión	Mg/L	400	48
7	Aceites y grasas	Mg/L	50	<2,0
8	pH	Unidades pH	6-9	7,5
9	Temperatura	°C	TCR +/- 7	20
10	Materia flotante	Presente /Ausente	Ausente	Ausente
ITEM	Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Grupo coliforme fecal	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,4x10 ⁵
2	Grupo coliforme total	NMP/100 mL	< 1x10 ⁵	2,4x10 ⁵

Fuente: elaboración propia.

4.10. Metales

Tabla XIV. **Resultados de análisis de contenido de metales**

ITEM	Parámetros	Unidades	Límites máximos permisibles etapa dos	Resultados
1	Arsénico	Mg/L As	0,1	0,0036
2	Cianuro	Mg/L CN	1	<0,010
3	Cromo (VI)	Mg/L Cr	0,1	<0,010
4	Cadmio	Mg/L Cd	0,1	<0,010
5	Cobre	Mg/L Cu	3,0	<0,040
6	Mercurio	Mg/L Hg	0,02	<0,00065
7	Níquel	Mg/L Ni	2	<0,30
8	Plomo	Mg/L Pb	0,4	<0,060
9	Zinc	Mg/L Zn	10,0	0,069

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Artículos 19 y 20: límites permisibles según Acuerdo Gubernativo 236-2006**

Parámetros	Unidades	Primera etapa 2 de mayo de 2011	Segunda etapa 2 de mayo de 2015	Tercera etapa 2 de mayo de 2020	Cuarta etapa 2 de mayo de 2024
Temperatura	°C	TCR+/- 7	TCR+/- 7	TCR+/- 7	TCR+/- 7
Arsénico	Mg/L As	0,5	0,1	0,1	0,1
Cadmio	Mg/L CN	0,4	0,1	0,1	0,1
Cianuro	Mg/L Cr	3	1	1	1
Cobre	Mg/L Cd	4,0	3,0	3,0	3,0
Cromo (VI)	Mg/L Cu	0,5	0,1	0,1	0,1
Mercurio	Mg/L Hg	0,10	0,02	0,02	0,01
Níquel	Mg/L Ni	4	2	2	2
Plomo	Mg/L Pb	1	0,4	0,4	0,4
Zinc	Mg/L Zn	10,0	10.	10,0	10,0

Fuente: Gobierno de Guatemala. *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Límites permisibles.* p.

6.

4.11. Comparación de resultados

Figura 2. Resultados de nitrógeno y fósforo en la parte baja del río



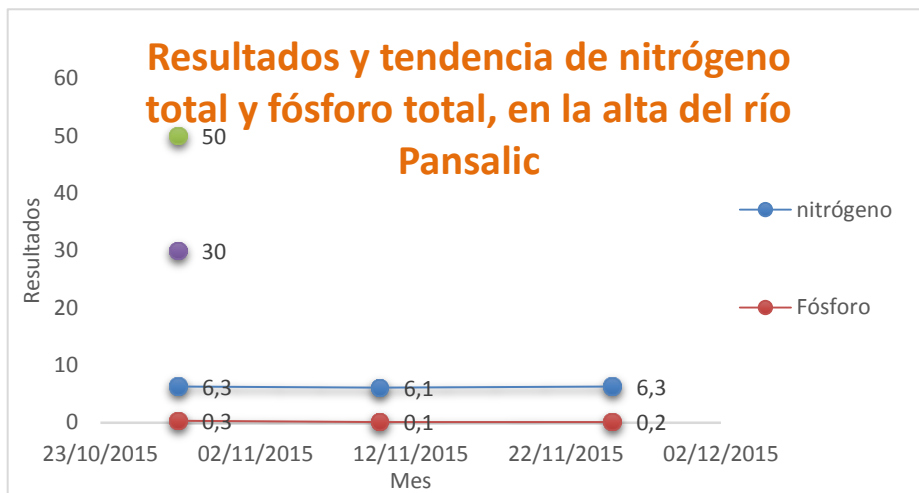
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Resultados de nitrógeno y fósforo en la parte media del río



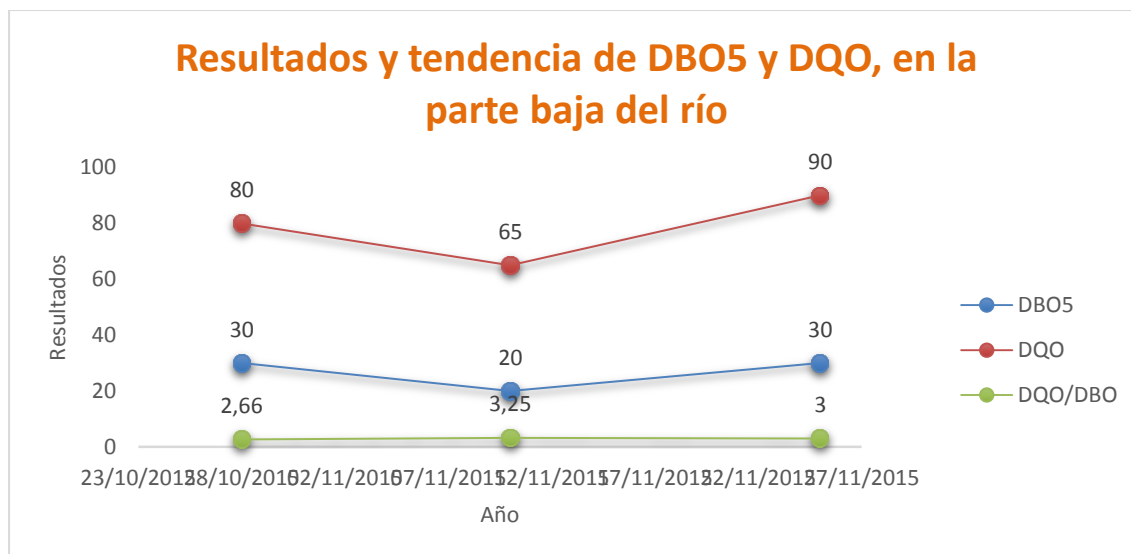
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Resultados de nitrógeno y fósforo en la parte alta del río



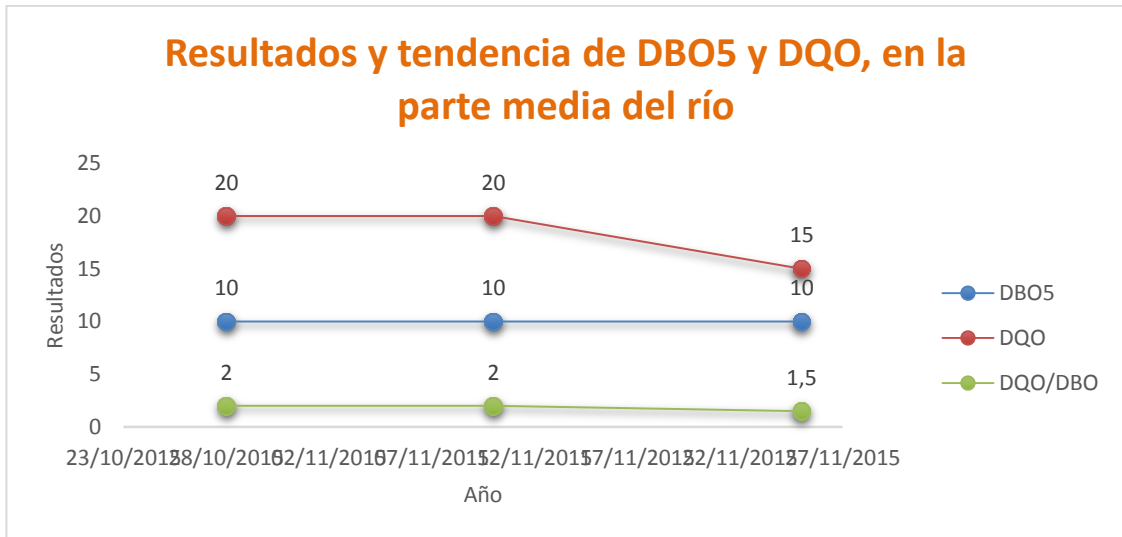
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Resultados de DBO5 y DQO en la parte baja del río



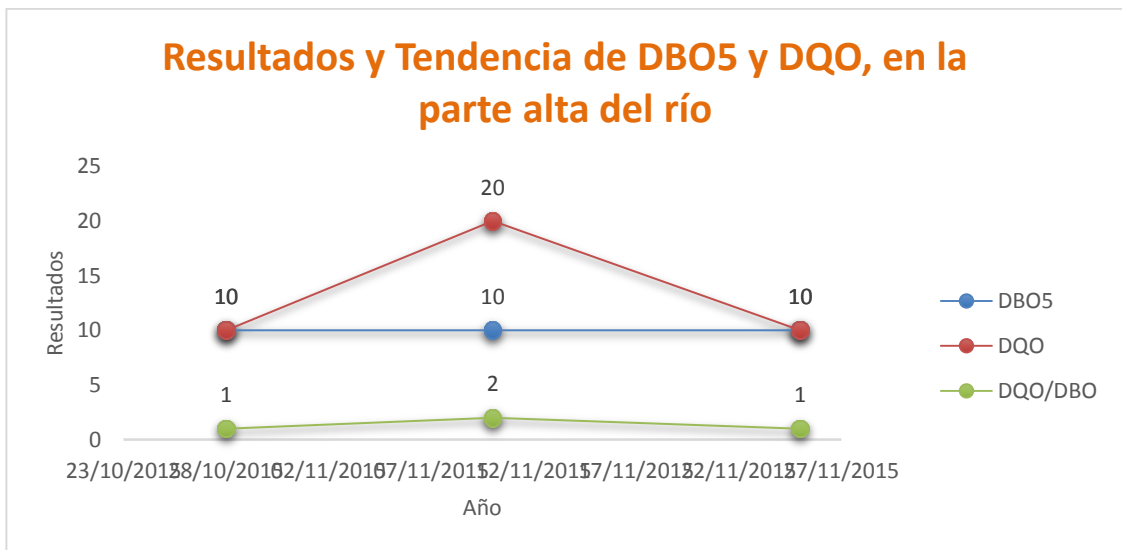
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Resultados de DBO5 y DQO en la parte media del río



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Gráfica I Resultados de DBO5 y DQO en la parte alta del río



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Resultados de sólidos suspendidos en la parte baja del río



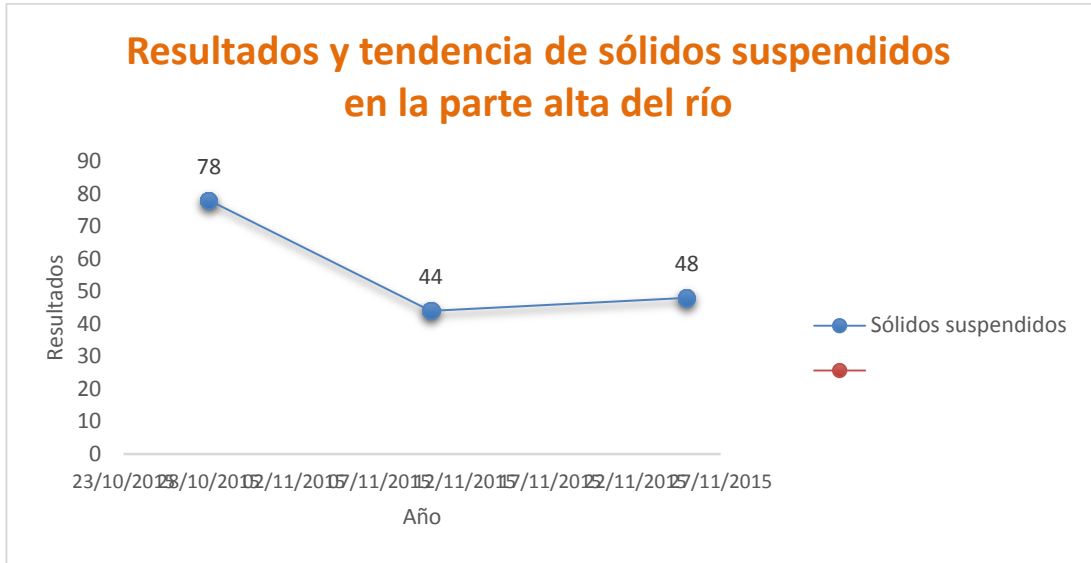
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Resultados de sólidos suspendidos en la parte media del río



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Resultados de sólidos suspendidos en la parte alta del río



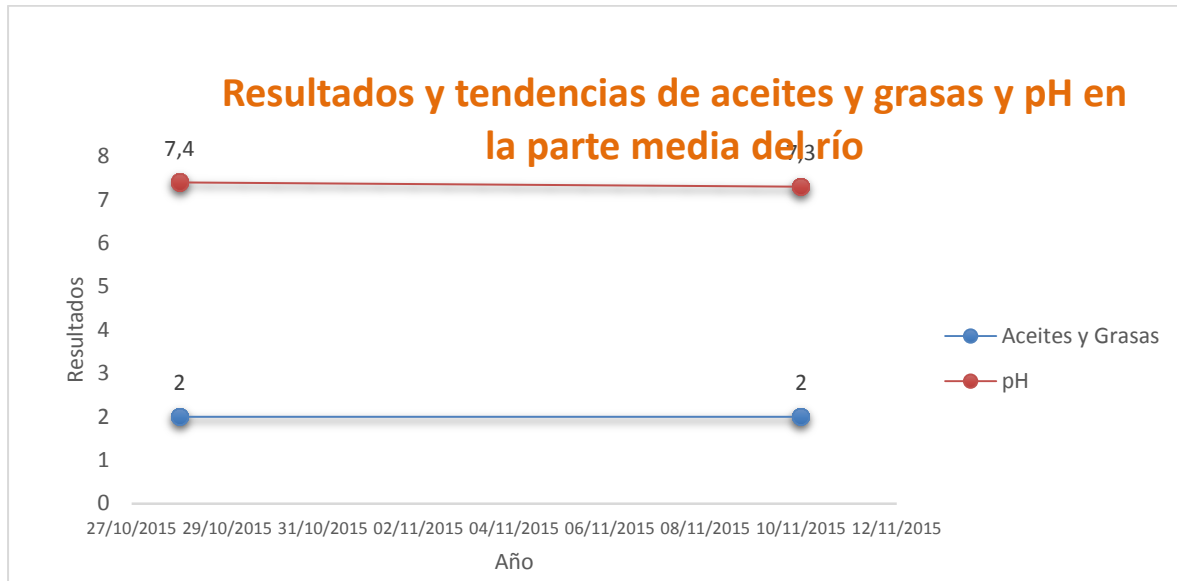
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Resultados de grasas y aceites y pH en la parte baja del río



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Resultados de grasas y aceites y pH en la parte media del río



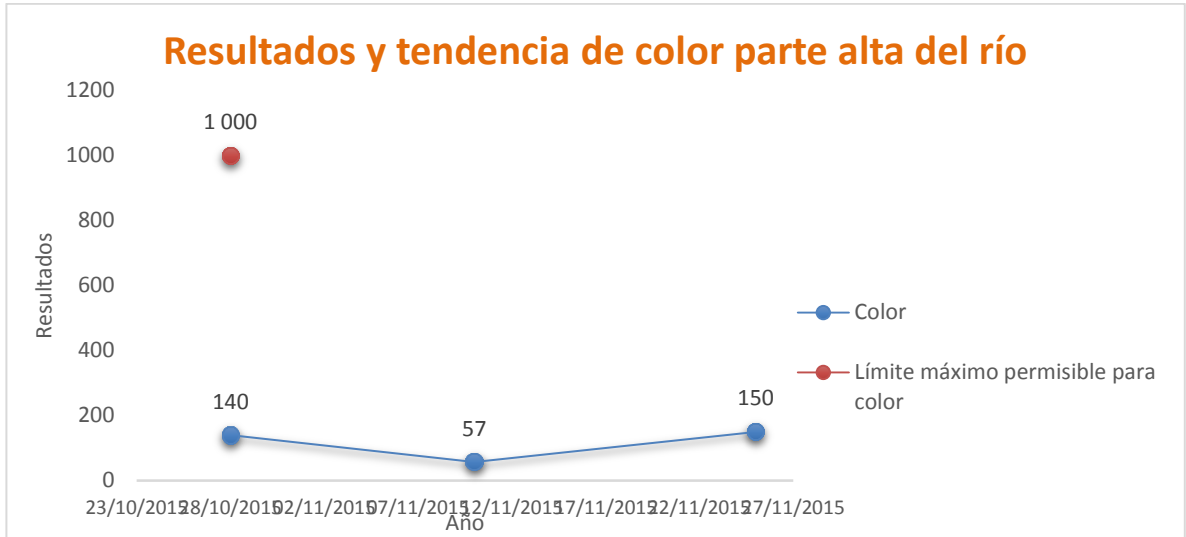
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Resultados de grasas y aceites y pH en la parte alta del río



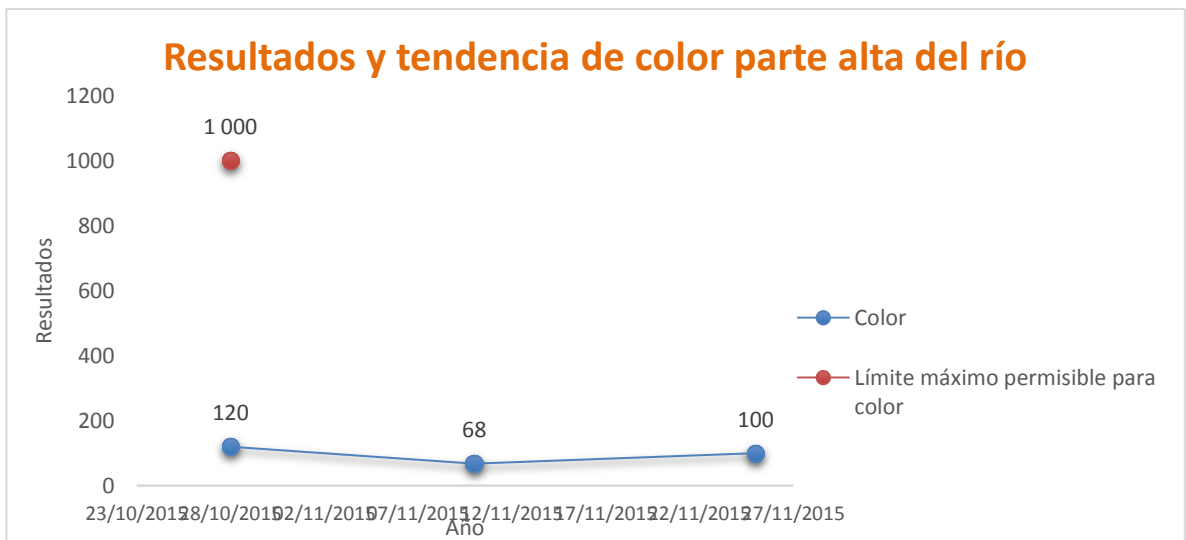
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Resultados de color en la parte baja del río



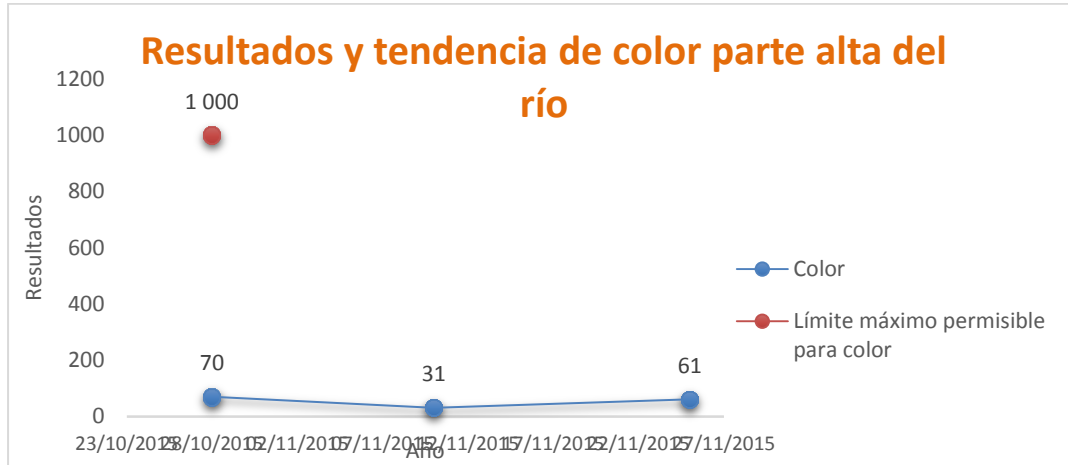
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Resultados de color en la parte media del río



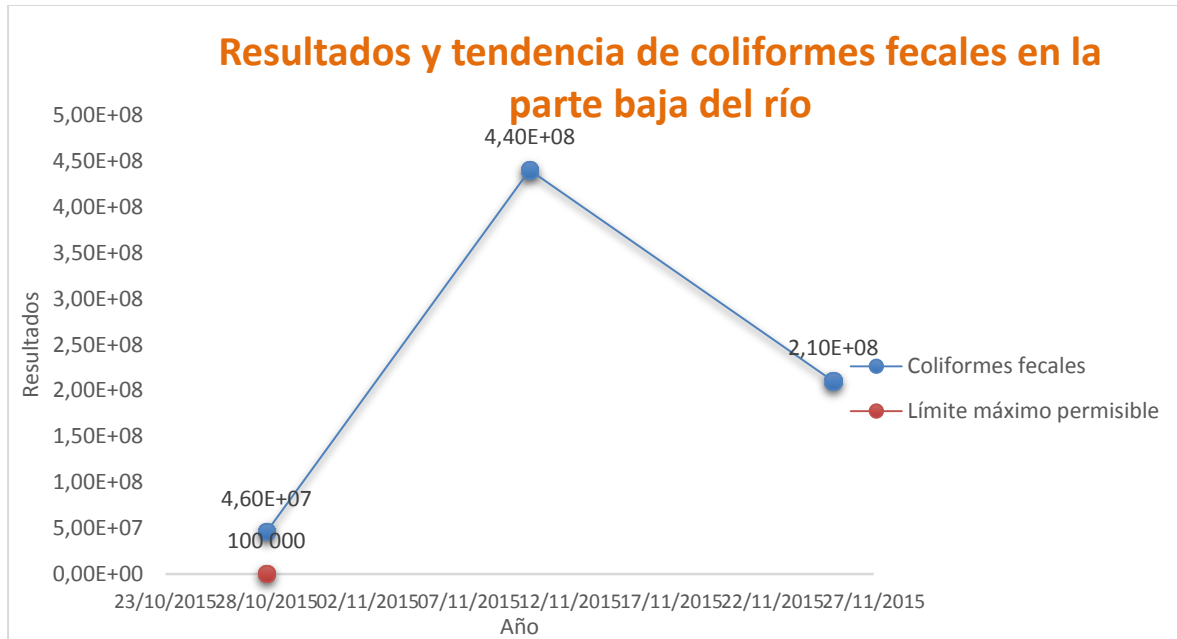
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Resultados de color en la parte alta del río



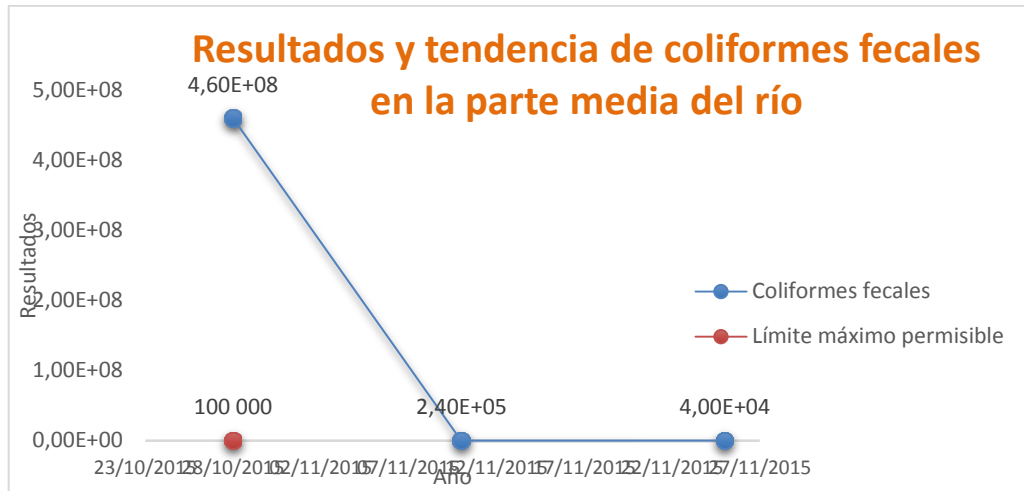
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Resultados de coliformes en la parte baja del río



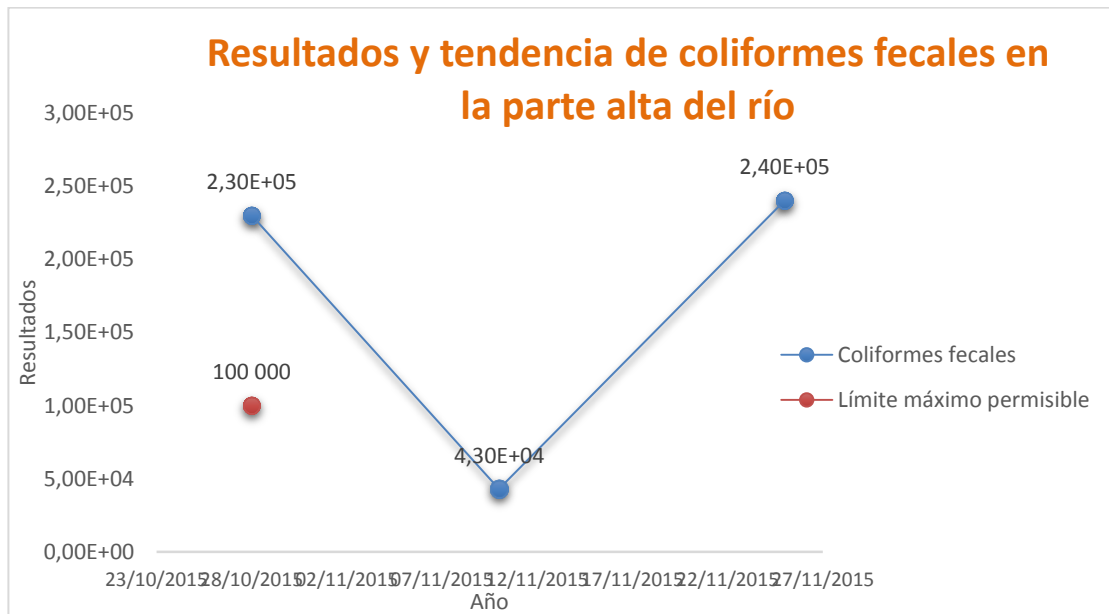
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Resultados de coliformes en la parte media del río



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Resultados de coliformes en la parte alta del río



Fuente: elaboración propia.

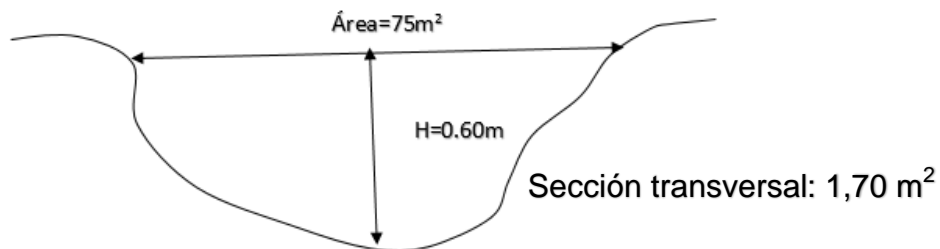
4.12. Caudal

4.12.1. Parte baja

Para determinar el caudal se utilizó el método de aforo, mediante flotador, siendo el ancho del río de 5 m en la parte baja del río y una distancia a lo largo de 15 m.

Tabla XVI. Caudal de la parte baja

Tiempo (Seg)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal(m ³ /s)	
43	75	0,35	0,61	
45	75	0,33	0,55	
44	75	0,34	0,57	
43	75	0,35	0,61	
45	75	0,33	0,55	
41	75	0,34	0,62	
45	75	0,33	0,55	
43	75	0,35	0,61	
45	75	0,33	0,55	
44	75	0,34	0,57	
43	75	0,35	0,61	
45	75	0,33	0,55	
46	75	0,32	0,52	
40	75	0,38	0,71	
42	75	0,36	0,64	
45	75	0,33	0,55	
42	75	0,36	0,64	
43,58	75	0,34	0,58	Promedio



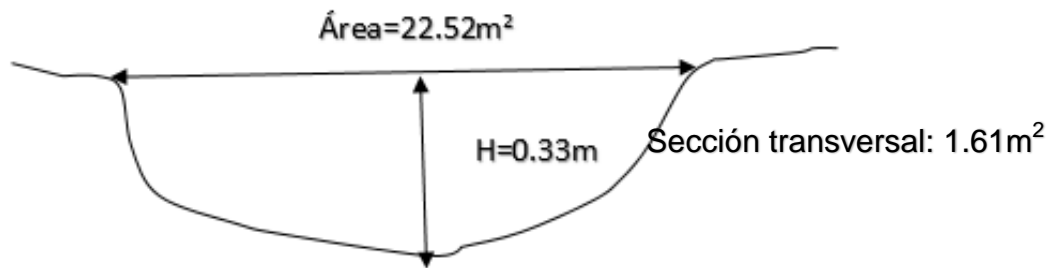
Fuente: elaboración propia.

4.12.2. Parte media

- Ancho: 1,5 m, largo: 15 m

Tabla XVII. Caudal de la parte media

Tiempo (Seg)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal(m ³ /s)	
13	22,57	1,15	1,99	
13	22,57	1,15	1,99	
14	22,52	1,07	1,72	
14	22,52	1,07	1,72	
14	22,52	1,07	1,72	
14	22,52	1,07	1,72	
15	24,75	1	1,65	
13	22,57	1,15	1,99	
15	22,50	1	1,50	
14	22,52	1,07	1,72	
14	22,52	1,07	1,72	
15	22,50	1	1,65	
15	22,50	1	1,65	
14	22,52	1,07	1,72	
14	22,52	1,07	1,72	
14	22,52	1,07	1,72	
14	22,52	1,07	1,72	
14,05	22,52	1,06	1,71	Promedio



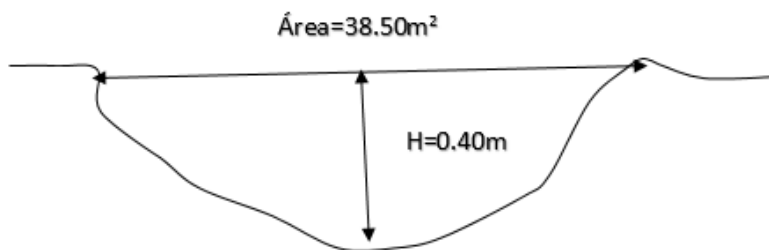
Fuente: elaboración propia.

4.12.3. Parte alta

- Ancho: 2,5 m, largo: 15 m

Tabla XVIII. Caudal parte alta

Tiempo (Seg)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal(m ³ /s)
56	38,61	0,26	0,17
54	38,56	0,27	0,19
52	38,60	0,28	0,20
65	37,60	0,23	0,13
39	37,94	0,38	0,36
55	37,85	0,27	0,18
57	37,92	0,26	0,17
58	38,76	0,25	0,16
45	37,87	0,33	0,27
56	38,61	0,26	0,17
54	38,56	0,27	0,19
55	37,82	0,272	0,18
55	37,85	0,272	0,18
56	38,61	0,26	0,17
52	38,60	0,28	0,20
50	37,50	0,30	0,22
51	38	0,29	0,21
53,52	38,50	0,28	0,19
			Promedio



Fuente: elaboración propia.

4.13. Determinación de IQA

- Término carga orgánica: ($\text{DBO}_5 \cdot \text{DQO}$).
- Término contaminación fecal: (CF).
- Término aspectos estéticos: ($\text{SS} \cdot \text{tur} \cdot \text{color}$).
- Término sustancias extraíbles con hexano: (aceites y grasas).
- Término nutriente: (NO_3 y PO_4) separados debido a que son variables independientes.

El resto de parámetros son términos separados ya que son variables independientes.

$$IQA = a * (DBO_5 * DQO) + b * (CF) + c * (SS * tur * color) + d * (aceites y grasas) + e * (NO_3) + f * (PO_4) + g * (pH) + h * (T^\circ C)$$

Donde a, b y c son los factores de ponderación (importancia) o el peso de cada uno de los términos considerados en la ecuación. La suma de todos los pesos debe ser igual al valor máximo del rango en el cual se está variando el IQA. En este caso el IQA variará en un rango de 0 a 10, por lo que se tendrá:

$$a + b + c + d + e + f + g + h = 10$$

La ecuación para calcular el IQA finalmente tiene la siguiente forma:

$$IQA = 1 * (DBO_5 * DQO) + 1,5 * (CF) + 1,6 * (SS * tur * color) + 1,7 * (aceites y grasas) + 1 * (NO_3) + 1 * (PO_4) + 1,2 * (pH) + 1 * (T^\circ C)^{11}.$$

4.13.1. Clasificación de corrientes

Tabla XIX. Clasificación de colores IQA

Valor IQA	Convención	Significado
9-10	Azul	Recurso hídrico en estado natural. Agua de muy buena calidad.
7-9	Verde	Recurso hídrico levemente contaminado. Agua buena calidad.
5-7	Amarillo	Recurso hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada
2,5-5	Naranja	Recurso hídrico contaminado. Agua altamente contaminada.
0-2,5	Rojo	Recurso hídrico muerto. Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso.

SIERRA RAMÍREZ. Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 57.

¹¹ SIERRA RAMÍREZ. Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 49.

Tabla XX. **Resultados IQA**

Fecha	Ubicación	Valor IQA	Convención
28/10/2015	Parte baja del río	7,88	Verde
28/10/2015	Parte media del río	7,98	Verde
28/10/2015	Parte alta del río	7,78	Verde
10/11/2015	Parte baja del río	7,40	Verde
10/11/2015	Parte media del río	7,98	Verde
10/11/2015	Parte alta del río	7,98	Verde
25/11/2015	Parte baja del río	7,78	Verde
25/11/2015	Parte media del río	7,98	Verde
25/11/2015	Parte alta del río	7,88	Verde

Fuente: elaboración propia.

4.14. Desfogues de aguas residuales del río Pansalic

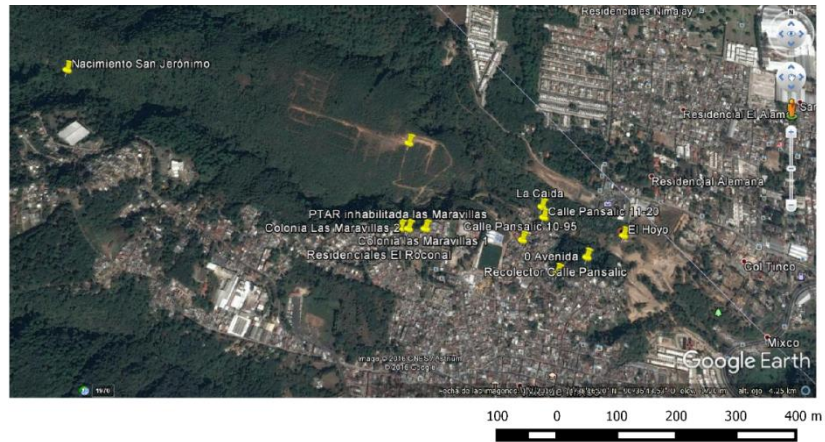
Tabla XXI. **Puntos georreferenciados de desfogues de aguas residuales**

Nombre	Coordenadas
Roconal/Maravillas	14°38'22" N 90°36'44" O
Colonia las Maravillas 1	14°38'12" N 90°36'42" O
Colonia las Maravillas 2	14°38'12" N 90°36'44" O
PTAR inhabilitada las Maravillas	14°38'12" N 90°36'45" O
El Nacimiento San Jerónimo	14°38'31" N 90°37'27" O
Calle Pansalic 10-95 (Futura PTAR)	14°38'11" N 90°36'30" O
Calle Pansalic 11-20	14°38'14" N 90°36'27" O
La Caida	14°38'14" N 90°36'27" O
Recolector Calle Pansalic	14°38'7" N 90°36'26" O
0 avenida	14°38'9" N 90°36'22" O
El Hoyo	14°38'12" N 90°36'17" O

Fuente: elaboración propia.

4.15. Ubicación de puntos de desfogues

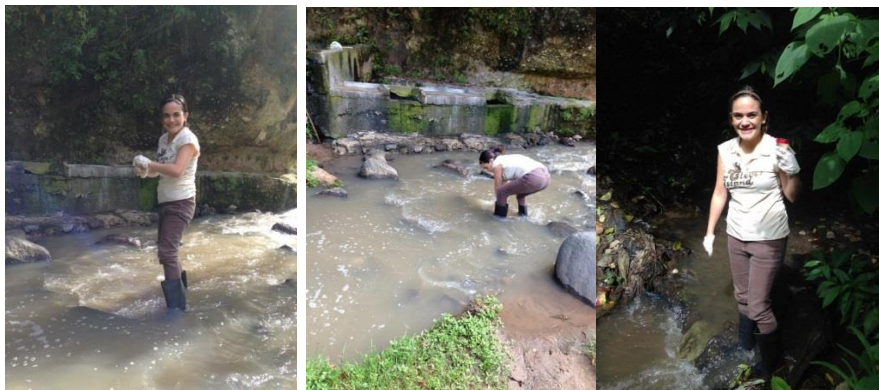
Figura 20. Mapa de desfogues, puntos georeferenciados de desfogues de aguas residuales



Fuente: elaboración propia.

4.16. Toma de muestras

Figura 21. Toma de muestras



Continuacion de la figura 21.



Fuente: elaboración propia.

4.17. Desfogues

Como se observa en las fotografías, los puntos donde desfogan las tuberías de aguas residuales se encuentran con presencia de desechos sólidos de diferentes tipos que aportan contaminación efluente. En cuanto a las cajas de drenajes sanitarios, se encuentran en un punto accesible para poder realizar chequeos de su funcionamiento.

Figura 22. **Ubicación de desfogues y cajas de drenajes sanitarios desfogue**



Continuación de la figura 22.

Cajas de drenajes sanitarios



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se aprecia el alto contenido de desechos sólidos que se encuentran alrededor de la tubería y del punto de desfogue. Cabe mencionar que este punto de desfogue se encuentra anexo a las viviendas que se ven afectadas por el alto contenido de contaminantes sólidos que al mezclarse con el agua residual aumenta el olor putrefacto y generan gases por los lixiviados. Se determinó que el agua no lleva ningún tratamiento para evitar dichas situaciones.

Figura 23. **Panorámica de desfogues**



Fuente: elaboración propia.

4.18. Botaderos clandestinos

Los botaderos clandestinos se encuentran dentro de la microcuenca donde pasa el río Pansalic. Estos botaderos colindan con viviendas; la propia población de la zona ha contribuido al crecimiento de estos botaderos. Sin embargo, esta población se ve afectada de salud por la contaminación; otro problema que les afecta debido a la presencia de botaderos es el deslizamiento del suelo por los lixiviados que se generan en el suelo que deterioran sus viviendas y la calidad de vida.

Figura 24. **Botaderos clandestinos de desechos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En los análisis realizados en tres puntos del río Pansalic se determina que la primera hipótesis fue nula debido a que el punto crítico del estudio se encuentra únicamente en la parte baja del río ya que en esta zona el río no tiene la capacidad de renovarse por sí solo debido a la alta contaminación por coliformes; aproximadamente, menos del 50 % del agua del río está contaminada en la parte baja, esto debido a que los parámetros evaluados según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 cumplen en un 90 % los límites establecidos; el límite de coliformes fecales en la parte baja del río se excede en los límites permisibles, ya que el valor de este parámetro fue de 2.1×10^8 NMP/100 mL, y el valor máximo permisible según el acuerdo es de $< 1 \times 10^5$ NMP/100 mL, una diferencia mayor al 100 %; en la parte media, únicamente en la primera toma de muestra, el parámetro de coliformes excedió del límite establecido con un valor de $4,6 \times 10^8$ NMP/100 mL; se hace referencia a que la parte baja es la que presenta mayor contaminación ya que es a lo largo de los tres muestreos y en la parte media únicamente en la primera muestra; sin embargo, es la muestra con un nivel mayor de coliformes. En la parte alta del río en las tres tomas de muestra se cumple con el límite establecido para presencia de coliformes.

Tanto en la parte media como alta del río se puede determinar que este tiene la capacidad de renovarse diariamente, logrando así descontaminar el recurso hídrico. Esto se debe a que la mayoría de descargas que caen al río se encuentran en su parte baja, por lo que en las zonas media y alta la carga orgánica que presenta el recurso es de origen natural la cual no afecta el afluente del río.

A partir de la zona más baja de la parte media del río empiezan las descargas directas de aguas residuales sin ningún tratamiento, aumentando la cantidad de desfogues en la parte baja del Pansalic, donde se presenta la mayor carga de contaminación en la zona. La carga elevada de desfogues y la presencia de basureros clandestinos aumentan la contaminación en la zona baja del río.

La calidad del agua del río Pansalic se encuentra en un rango de 7-9 según el IQA lo cual hace referencia a un recurso hídrico levemente contaminado, clasificando así el recurso como de buena calidad. Debe hacerse referencia que los parámetros estudiados son para uso exclusivo de descarga de aguas, no es apto para consumo humano como agua potable, sin embargo, el recurso se puede utilizar para riego de hortalizas.

En la gráfica 1. en el monitoreo realizado el 25 de noviembre de 2015 se obtuvieron resultados considerablemente altos de nitrógeno, 5,8 Mg/L en comparación con los monitoreos realizados el 10 de noviembre de 2015 y el 28 de octubre de 2015, con valores por debajo a 4,9 Mg/L; ambos resultados cumplen con los límites permisibles establecidos para la etapa dos del reglamento, está dentro del rango permisible. En cuanto a los resultados obtenidos para el monitoreo de fósforo total, la tendencia es de menor a mayor con los resultados mayores el 10 de noviembre de 2015 y el 25 de noviembre de 2015, con valores de 7,4 a 9 Mg/L, y el 28 de octubre de 2015 es el resultado donde se presenta la menor carga de fósforo con un valor de 0,2 Mg/L. Es determinante tomar en cuenta que ambos parámetros se encuentran dentro de los valores establecidos al límite máximo permisible para la etapa dos del reglamento.

Evaluando los parámetros de DBO5 y DQO los resultados más elevados (gráfica 2) se presentan en la parte baja del río en el mes de octubre con valores de 80 Mg/L para DBO5 y 30 Mg/L para DQO, mes cuando se presentó mayor presencia de lluvia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la gráfica 3 de análisis de sólidos suspendidos se concluye lo siguiente: los sólidos suspendidos mostraron un resultado mayor con un valor de 96 Mg/L, el 28 de octubre de 2015 en la parte baja del río; el segundo y tercer monitoreo del 10 de octubre de 2015 y 25 de octubre de 2015 muestran una tendencia de disminución de 84 a 48 Mg/L, en la parte media y alta del río, todos los resultados se encuentran por debajo del límite máximo permisible. En lo que respecta a grasas, aceites y pH se puede concluir que estos presentan la misma tendencia para las tres etapas de muestreo, en los tres puntos con resultados de tendencia a disminuir. No obstante, estos parámetros no presentan concentraciones altas en sus análisis, cumpliendo con el límite máximo permisible para los valores de la etapa dos del reglamento. En cada punto se midió el caudal que es apto para la conservación de la fauna y flora de la región.

Mediante un recorrido en la microcuenca del río Pansalic, Mixco, Guatemala, se identificaron 11 descargas directas sin tratamiento de aguas residuales, las cuales desfogon al río, causantes en gran parte de su contaminación.

Cinco de los desfuegos que llegan al río no solo afectan la calidad del agua sino también a los pobladores del sector de la calle Pansalic que se encuentran dentro o están aledaños a sus viviendas. Únicamente se georreferenciaron los desfuegos pero no fue posible medir el caudal de cada uno de estos por la ubicación de elevado riesgo donde se encuentran.

El recolector de aguas residuales se encuentra dentro de una vivienda en la calle Pansalic 10-95 el cual no ha tenido un mantenimiento a lo largo de los años provocando socavación en la vivienda donde se encuentra ubicado y en las viviendas vecinas, ya que también ha causado hundimiento en el muro que divide las viviendas del barranco.

La falta de plantas de tratamiento para tratar las aguas residuales es causante de que las aguas residuales descarguen directamente en el río causando daños a la flora, fauna y a la salud de los pobladores de la zona.

CONCLUSIONES

1. Las principales causas de contaminación del río son: los basureros clandestinos alrededor del área del Pansalic, los desfuegos de aguas residuales y el uso de jabones para lavado directo en el río.
2. La calidad del agua del río Pansalic, de acuerdo con el índice de calidad del agua (IQA), está en un rango de 7-9 lo que indica que es un recurso hídrico levemente contaminado. Agua que todavía se puede percibir como de buena calidad, según el IQA y el reglamento 236-2006 en cuestión de aguas residuales exceptuando el contenido de coliformes fecales. El agua no es apta para el consumo humano.
3. Existen 11 descargas puntuales de aguas residuales que llegan directamente al río sin ningún tratamiento previo a la descarga, focos de contaminación para el Pansalic.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable eliminar cada uno de los basureros clandestinos del área de la zona 7 de Mixco con énfasis en los botaderos cercanos al área protegida del Cerro Alux.
2. Una forma de reducir la creación de basureros clandestinos es colocar un muro perimetral en la zona del Mansanillo, donde se encuentra la mayor parte de desechos sólidos que afectan la calidad del agua del río Pansalic.
3. Para reducir la cantidad de desfogues se deberían unificar las descargas para ser tratadas en una misma PTAR.
4. Se deben construir plantas de tratamiento de aguas residuales para las descargas que se realizan hacia el río. Tratar de forma correcta las aguas residuales que desfogan al río.
5. Coordinar un servicio de vigilancia en la parte baja del río para poder controlar el uso directo de MBAS (sustancias activas al azul de metileno, por sus siglas en inglés) en el río.

BIBLIOGRAFIA

1. AGUIRRE CORDÓN, Maritza Raquel. *Diagnóstico del uso hídrico de la cuenca del río Motagua en los municipios de San Agustín Acaguastlán, San Cristóbal Acaguastlán y El Jícaro, departamento de El Progreso, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2003. 218 p.
2. ALBERT, Lilia A.; LÓPEZ MORENO, Sergio; FLORES Julio. *Diccionario de la contaminación*. Colombia: Centro de Ecología y Desarrollo, CECODES, 1999. 180 p.
3. ARAGÓN, Blanca. *Informe nacional sobre la situación de manejo de cuencas en Guatemala. Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG) Red Latinoamericana de Cuencas Hidrográficas (REDLACH)*. Guatemala, 2002. 33 p.
4. Bioenciclopedias. *Contaminación hídrica*. [En línea]. <<http://www.bioenciclopedia.com/contaminacion-hidrica/>>. [Consulta: 10 de octubre de 2015].
5. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. *Plan maestro 2010-2014. Reserva forestal protectora de manantiales Cordillera Alux*. Guatemala: CONAP, 2010. 179 p.

6. Cybertesis. *Determinación de arsénico y cadmio en aguas del río Rímac y habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima*. [En línea]. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/4155/1/Basualdo_lg.pdf>. [Consulta: 10 de octubre de 2015].
- 7.
8. DE LEÓN BARRÍOS, Francisco Khalil. *Estudio de calidad del agua del río Samalá del tramo Cantel – Zunil – El Palmar, Quetzaltenango*. Trabajo de graduación de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 198 p.
9. DE SAMOS, Duli. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1992. 159 p.
10. *Determinación automática de cianuro libre y total en agua y efluentes*. [En línea]. <<https://www.notijenck.com.ar/aplicaciones/determinacion-automatica-de-cianuro-libre-y-total-en-agua-y-efluentes/>>. [Consulta: 10 de octubre de 2015].
- 11.
12. *Estimación de la erosión hídrica en los suelos de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala*. [En línea]. <<http://www.fao.org/climatechange/>

3032907fbeat2365b50c707fe5ed283868f23d.pdf>. [Consulta: 29 de septiembre de 2015].

13. FAJARDO HERRERA, Nestor Francisco. *Caracterización del recurso hídrico superficial y lineamientos de manejo de las microcuencas de los ríos Pansalic y Pancocha Mixco, Guatemala y servicios prestados al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN-*. Trabajo de graduación de Ing. en agronomía. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2011. 258 p.
14. Gobierno de Guatemala. *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala: Gobierno de Guatemala, 2006. 24 p.
15. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación Comité de Recursos Naturales. *Gestión integral de los recursos naturales*. Guatemala: MAGA, 1999. 244 p.
16. Nitrógeno Kjeldahl. [En línea]. <<http://www.infojardin.net/glosario/nicotina/nitrogeno-total.htm>>. [Consulta: 10 de octubre de 2015].
17. ORTEGA SUNUC, María José. *Diagnóstico socioambiental y propuesta de manejo integral para la microcuenca del río Pansalic, Cordillera Alux, Mixco*. Trabajo de graduación de Arquitecta. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2013. 249 p.
18. RAMOS MALDONADO, Francisco Josué. *Análisis de la calidad de agua para consumo humano, en el área urbana del puerto De San José, departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing.

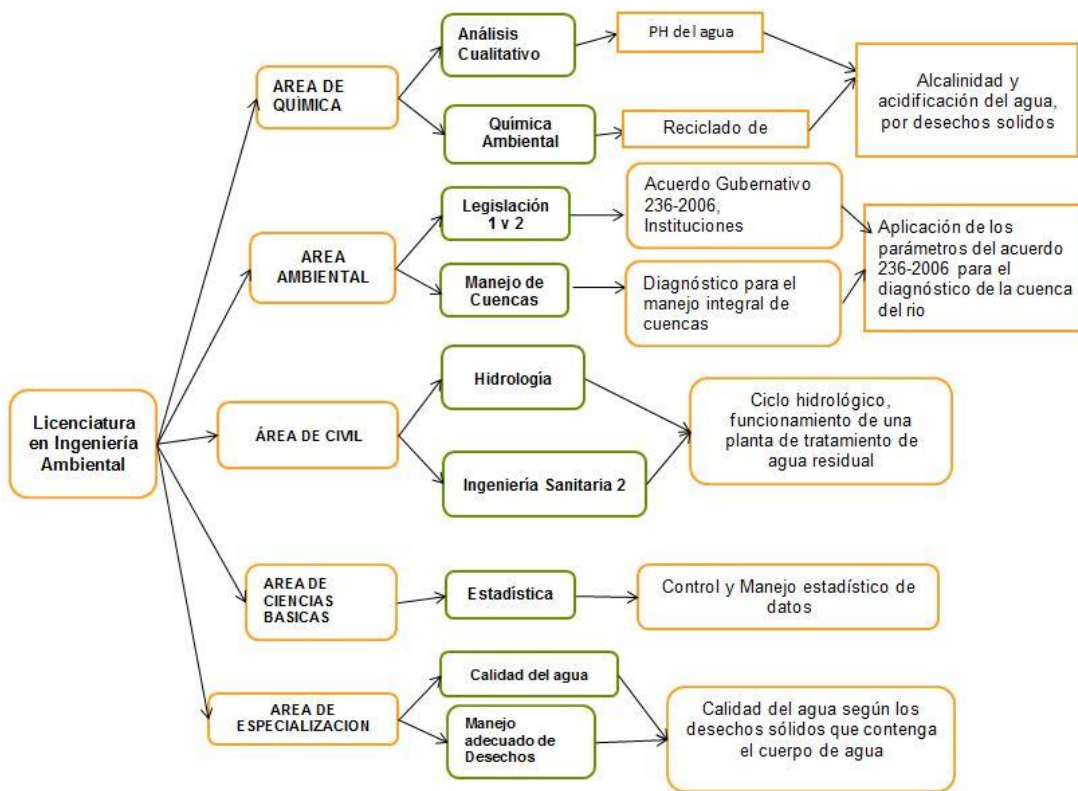
Química. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 298 p.

19. *Red de control de la calidad físico-química de las aguas superficiales.* [En línea]. <http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/ParametrosNutrientes.htm>. [Consulta: 10 de octubre de 2015].
20. RIVERA RAMOS, Paris Francisco. *Análisis de riesgo dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Pansalic, Mixco, Guatemala.* Trabajo de graduación de Ing. Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 236 p.
21. SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico.* Colombia: Ediciones de la U, 2011. 215 p.
22. Usos recreativos. [En línea]. <<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=2153&idMenu=2235>>. [Consulta: 29 de septiembre de 2015].
23. VILLODAS, Rubén. *Hidrología: guía de estudios para las cátedras: Hidrología I y II, Unidad 4, Cuencas.* Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, 2008. 516 p.
24. ZELADA, Juan Antonio. *análisis de la riqueza, composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Pampumay y Pansalic-Panchiguaja autoridad para el manejo*

sustentable de la cuenca y el lago de Amatitlán (AMSA). Trabajo de graduación de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2012. 180 p.

APÉNDICES

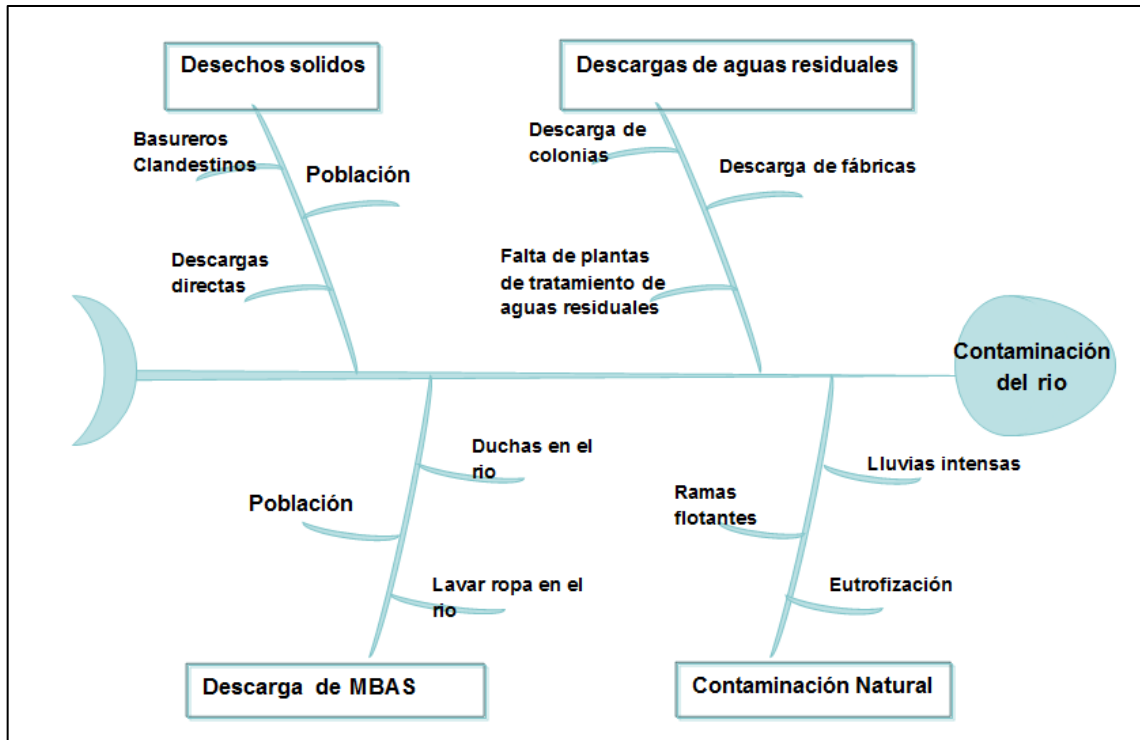
Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.

Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Capítulo V**

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:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda bioquímica de oxígeno, a los cinco días, a veinte grados Celsius
- Demanda química de oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre

Continuación del anexo 1.

- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

Artículo 17. Modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno

Los entes generadores existentes deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor, conforme a los valores y etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Continuación del anexo 1.

Etapa	Uno				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil once				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Etapa	Dos				
Duración, años	4				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
Etapa	Tres				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
Etapa	Cuatro				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	3000<EG<4000			4000≤EG<7000	
Reducción porcentual	40			60	

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el estudio técnico. Dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno, se utilizará el valor inicial de descarga del estudio técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

Continuación del anexo 1.

Artículo 18. Determinación de demanda química de oxígeno

Los entes generadores en el estudio técnico deberán incluir la determinación de la demanda química de oxígeno, a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 19. Meta de cumplimiento

La meta de cumplimiento, al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. Los entes generadores existentes que alcancen y mantengan éstos valores habrán cumplido con la meta establecida en este artículo y con el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17 del presente reglamento.

Los entes generadores existentes que registren cargas menores o iguales a tres mil kilogramos por día, pero que registren valores mayores a doscientos miligramos por litro en el parámetro de calidad asociado, procederán a efectuar la reducción del valor de dicho parámetro de conformidad con los porcentajes correspondientes a la primera columna del lado izquierdo correspondiente a los rangos, en el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17, del presente reglamento.

Continuación del anexo 1.

Los entes generadores existentes de aguas residuales de tipo especial y ordinario que después de tratar dichas aguas, y que en cualesquiera de las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas alcancen y mantengan valores en el parámetro de calidad asociado, iguales o menores que cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

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:

Continuación del anexo 1.

		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				
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	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	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
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

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Gobierno de Guatemala. *Acuerdo Gubernativo 236-2006*. p. 14.

