



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS
A NIVEL DE POSTGRADO**

**ESTIMACION DE LA CARGA CONTAMINANTE Y EL VOLUMEN DE
SEDIMENTO EN LA LAGUNA DE AYARZA**

ING. IRENE MARIA ORTEGA FLORES

Guatemala, Noviembre del 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTIMACION DE LA CARGA CONTAMINANTE Y EL VOLUMEN DE
SEDIMENTO EN LA LAGUNA DE AYARZA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS – ERIS –

POR

ING. IRENE MARIA ORTEGA FLORES

ASESORADO POR:

M.Sc. ING. PEDRO CIPRIANO SARAVIA CELIS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRA (MAGÍSTER SCIENTIFICAE)
EN RECURSOS HIDRAULICOS, OPCION GESTION INTEGRADA DE
RECURSOS HIDRICOS**

Guatemala, Noviembre del 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Gil

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



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

ESTIMACION DE LA CARGA CONTAMINANTE Y EL VOLUMEN DE SEDIMENTO EN LA LAGUNA DE AYARZA

Tema que me fuera aprobado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, el 17 de Noviembre de 2010.

ING. IRENE MARIA ORTEGA FLORES

Guatemala, 17 de noviembre de 2010

MSc, Ing. Elfego Orozco
Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Habiendo revisado el documento denominado "**Estimación de la carga contaminante y el volumen de sedimento en la Laguna de Ayarza**", que fuera elaborado por la Inga. Amb. **Irene María Ortega Flores**, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Recursos Hidráulicos, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,

Edificio de ERIS,
Instalaciones de prefabricados, CII
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenieria-usac.edu.gt

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis
Asesor del Estudio

Guatemala, 18 de noviembre de 2010

Señores

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el trabajo de Estudio Especial titulado:

Estimación de la carga contaminante y el volumen de sedimento en la Laguna de Ayarza

presentado por el estudiante,

Ingeniera Irene María Ortega Flores

Les manifiesto que el estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) Y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser "E. Orozco".

MSc. Ing. Elfego Orozco
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de prefabricados, CII
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenienira-usac.edu.gt

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de prefabricados, CII
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9124

www.ingenieria-usac.edu.gt

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Joram Matias Gil Laroj, MSc. Ing. Zenón Much Santos y MSc. Ing. Pedro Saravia Celis; así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos, MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes y del trabajo de la estudiante: Ingeniera Irene María Ortega Flores, titulado " Estimación de la carga contaminante y el volumen de sedimento en la Laguna de Ayarza ", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo.
Guatemala 19 de noviembre de 2010.

IMPRIMASE

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos



DEDICATORIA

A mi amada familia y mi querido novio que me apoyaron e incentivaron en todo momento para realizar esta maestría, ya que con todo su cariño y fuerza aportaron grandemente para la realización de este sueño, la culminación mis estudios de postgrado. Muchas gracias, Dios los bendiga y les retribuya todo lo que han hecho ahora y siempre por mí. Los amo con todo mi corazón

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Por su amor infinito, por darme la vida y la oportunidad de seguirme formando como profesional a través de esta Maestría. Gracias por que vas al frente de mi vida y siempre me acompañas y guías.
- MI FAMILIA** Gracias a toda mi amada familia muy especialmente a mis padres Carlos e Irene por darme la vida y amarme incondicionalmente, sin su apoyo y amor no estaría cumpliendo mi sueño. Gracias a mis queridos hermanos Mónica, Carlos, Alfonso, Sergio y Adriana y sus lindas familias, por todo su cariño y su apoyo sincero. Un agradecimiento muy especial para mí amada familia chapina que tanto me apoyaron por tierras Guatemaltecas. Los amo a todos.
- MI ASESOR** MSc. Pedro Cipriano Saravia Celis por su apoyo y guía en la realización de esta tesis y a lo largo de toda la maestría.
- MI NOVIO** Muchas gracias Dorian por su amor y por todo su apoyo a lo largo de la Maestría, has sido para mí un pilar fuerte y has llenado mi vida de mucha felicidad. Te amo.
- COMPAÑEROS** Muchas gracias queridos compañeros y amigos por su sincera amistad, por todos los momentos hermosos compartidos juntos y por todo su apoyo en este tiempo de estudios, siempre los tendré en mi corazón y pido a Dios que colme sus vidas de bendiciones y triunfos.
- AMIGOS** A todos mis queridos amigos y amigas que estuvieron siempre pendientes de mi, muchísimas gracias por su cariño y oraciones, los quiero mucho.

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE CUADROS	5
1. ASPECTOS GENERALES.....	6
1.1. Introducción.....	6
1.2. Objetivos	7
1.2.1.Objetivo General.....	7
1.2.2.Objetivos Específicos.....	7
1.3. Planteamiento del Problema.....	7
1.3.1.Problema de Investigación.....	8
1.4. Hipótesis.....	8
1.4.1.Hipótesis Nula.....	8
1.4.2.Hipótesis Alternativa	8
1.5. Antecedentes.....	8
1.6. Justificación.....	9
2. ASPECTOS TEÓRICOS.....	10
2.1. Lagos y Lagunas	10
2.1.1.Lagos Eutróficos y Oligotróficos	11
2.2. Carga Contaminante	12
2.3. Procesos Geológicos.....	13
2.3.1.Erosión.....	13
2.3.2.Sedimentación	14
3. DIAGNÓSTICO.....	14
3.1. Ubicación.....	14
3.2. Vialidad.....	16
3.3. Características Bioclimáticas.....	16
3.3.1.Clima.....	16
3.3.2.Zona de Vida	17

3.3.3. Suelo.....	18
3.3.4. Topografía	21
3.3.5. Fisiografía	21
3.3.6. Geología y Geomorfología	22
3.4. Características de los Recursos Hídricos	23
3.5. Flora	24
3.5.1. Bosque de Coníferas	24
3.5.2. Bosque Mixto	24
3.5.3. Bosque Latifoliado	25
3.6. Fauna	25
3.7. Arqueología	26
3.8. Infraestructura	27
3.9. Población Alrededor de la Laguna de Ayarza	27
3.10. Agua y Saneamiento.....	28
3.10.1. Agua.....	28
3.10.2. Aguas Residuales	29
3.10.3. Desechos Sólidos.....	30
3.11. Tenencia de la tierra	31
3.12. Situación Legal	31
3.13. Situación Ecológica-Cultural	32
3.14. Turismo Ecológico	32
4. INVENTARIO DE ACTIVIDADES	33
5. EVALUACIÓN RÁPIDA DE FUENTES CONTAMINANTES (ERFC)	34
5.1. Ventajas	35
5.2. Desventajas.....	36
5.3. Descripción General del Procedimiento de ERFC.....	36
5.4. Aplicación del Procedimiento de ERFC.....	37
5.4.1. Estimación de Población Servida Actual.....	38
5.4.2. Estimación de Población Servida en Escenarios Futuros.....	38
5.4.3. Estimación de Carga Contaminante	39
5.5. Resultados.....	41

5.5.1. Situación Actual	41
5.5.2. Escenarios Futuros	42
5.5.3 Comparación Escenarios Actual y Futuros	43
5.5.3. Concentraciones	45
5.6. Análisis de Resultados	47
6. MODELO DE EROSIÓN RUSLE	48
6.1. Aplicación del Modelo de Erosión RUSLE	50
6.1.1. Índice de Erosividad de la Lluvia (R).....	51
6.1.2. Factor Erodabilidad del Suelo (K)	54
6.1.3. Factor Longitud/Inclinación (LS).	56
6.1.4. Factores Manejo de Cultivo y Prácticas de Conservación (C y P) ..	59
6.2. Resultados.....	62
6.3. Análisis de Resultados	63
7. PROPUESTA DE ACCIONES	64
8. CONCLUSIONES	65
9. RECOMENDACIONES	66
10. BIBLIOGRAFÍA	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Ubicación de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.....	15
Figura 2: Mapa de Zonas de Vida de la Cuenca de la Laguna de Ayarza	18
Figura 3: Mapa de Serie de Suelos de la Cuenca de la Laguna de Ayarza	20
Figura 4: Mapa de Fisiografía de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.....	22
Figura 5: Mapa de Geología de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.....	23
Figura 7. Ilustración del enfoque de ERFC del aire, agua y suelo.	35
Figura 8. Gráfica de Población a través del tiempo.....	44
Figura 9. Gráfica de Volumen de Aguas Residuales a través del tiempo.....	44
Figura 10. Gráfica de Carga Contaminante en el tiempo	45
Figura 11. Gráfica comparativa de Concentración de Contaminantes	47
Figura 12 Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas cercanas a la Cuenca de la Laguna de Ayarza	53
Figura 13 Mapa del Factor R de la Cuenca de la Laguna de Ayarza	53
Figura 14 Nomograma para el cálculo del Factor K.....	55
Figura 15 Mapa Factor K de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.....	55
Figura 16 Nomograma para el cálculo del Factor LS	58
Figura 17 Mapa de Factor LS de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.....	58
Figura 18 Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca de la Laguna de Ayarza	61
Figura 19 Mapa del Factor C de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.....	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro1: Accesos a Laguna de Ayarza	16
Cuadro 2. Población de las Comunidades Cercanas a la Laguna de Ayarza ...	27
Cuadro 3. Hogares por Tipo de Servicio de Agua	29
Cuadro 4. Hogares por Tipo de Servicio Sanitario	30
Cuadro 5. Hogares por la Forma de Eliminar la Basura.....	31
Cuadro 6. Población de Media Cuesta con Servicio de Drenaje Sanitario.....	38
Cuadro 7. Población Futura con Servicio de Drenaje Sanitario	39
Cuadro 8 Cargas de Contaminantes de las Aguas Residuales Domésticas	40
Cuadro 10 Cargas de Contaminantes de las Aguas Residuales que se Descargadas a la Laguna de Ayarza en el 2015.....	42
Cuadro 11 Cargas de Contaminantes de las Aguas Residuales que se Descargadas a la Laguna de Ayarza en el 2020.....	43
Cuadro 12. Comparación de Cargas de Contaminantes Escenarios Actual y Futuros	43
Cuadro 13. Concentración de los Contaminantes de las Aguas Residuales que se Descargan en la Laguna de Ayarza	45
Cuadro 14. Reducción de Contaminantes de una Planta de Tratamiento Secundario de Aguas Residuales	46
Cuadro 15 Comparación de la Concentración de los Contaminantes con la Normas Nacionales.....	46
Cuadro 16. Dimensiones y Unidades de los factores del Modelo RUSLE	50
Cuadro 17. Factor R por Estaciones Meteorológicas	52
Cuadro 18 Factor C por Grupo de uso del Suelo	59
Cuadro 19 Sedimentos que pueden llegar anualmente a la Laguna de Ayarza	63

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

La Laguna de Ayarza es un cuerpo de agua de origen volcánico, con una belleza escénica única; sus aguas son ligeramente sulfurosas y aparentan una contaminación mínima; tiene una profundidad máxima de 230 m y una extensión aproximada de 14 km². (ADES.2005)

Se encuentra ubicada en la República de Guatemala, departamento de Santa Rosa, dos terceras partes pertenecen al municipio de Casillas y el resto al municipio de San Rafael las Flores. (Ver Figura 1)

Es uno de los siete cuerpos de agua más importantes en Guatemala y representa un ecosistema cuyas características singulares ameritaron que fuera incluida como un área de protección especial. (ADES. 2005)

Desde el año 2003 el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), como uno de los primeros pasos para la conservación y el manejo de la Laguna de Ayarza, le concedió la coadministración del sitio a la Asociación para el Desarrollo Sostenible (ADES). Esta asociación realizó entre los años 2004-2005 un Estudio Técnico de la Laguna y la presentó ante el CONAP para poder ser declarado como área protegida, específicamente en la categoría de Área de Uso Múltiple - tipo III; ya que actualmente es un Área de Protección Especial, es decir, que reciben protección, aunque no están legalmente declaradas. Este proceso aún está en etapa de gestión.

La Laguna está ubicada en un área que socioeconómicamente se considera pobre y a la vez olvidada en cuanto a investigación se refiere.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Estimar las cargas contaminantes y el volumen anual de sedimentos que son aportados a la Laguna de Ayarza.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el inventario de las actividades que puedan ocasionar impactos negativos que aportan contaminación orgánica e inorgánica a la Laguna de Ayarza.
- Estimar las cargas contaminantes que llegan a la Laguna de Ayarza, en función de las actividades inventariadas.
- Determinar el volumen anual de sedimentos que son depositados en la Laguna de Ayarza.
- Proponer acciones para evitar la contaminación y eutrofización de la Laguna de Ayarza.

1.3. Planteamiento del Problema

El problema en esta zona es el grave deterioro de la cuenca, la cual llevará al deterioro de la masa de agua si no se atiende sosteniblemente. Una de las mayores presiones de la cuenca es la deforestación debido al uso inadecuado de la tierra, lo que puede ocasionar la erosión del suelo, por lo que mediante esta investigación se pretende medir el volumen de sedimentos generados en la cuenca que drena a la laguna de Ayarza.

La investigación busca además identificar otras actividades que ocasionan problemas a la cuenca y que repercuten en la contaminación de la laguna, para determinar sus cargas contaminantes y proponer algunas medidas para evitarlas o mitigarlas.

1.3.1. Problema de Investigación

¿Las actividades realizadas en la cuenca que drena a la Laguna de Ayarza están generando niveles de contaminación y sedimentos que provocan su deterioro?

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis Nula

Los niveles de las cargas contaminantes y el volumen de sedimentos encontrados no ocasionarán el deterioro de la Laguna de Ayarza.

1.4.2. Hipótesis Alternativa

Los niveles de las cargas contaminantes y el volumen de sedimentos encontrados ocasionarán el deterioro de la Laguna de Ayarza.

1.5. Antecedentes

La Asociación para el Desarrollo Sostenible (ADES) coadministradora de Laguna de Ayarza realizó en el año 2005 un estudio técnico del área, que describe sus características generales, que involucra aspectos biológicos, arqueológicos, culturales y socioeconómicos de la región. Este estudio que cuenta con el visto bueno del CONAP pretende cumplir el requisito establecido en la Ley de Áreas Protegidas de Guatemala para lograr la declaratoria legal de la Laguna de Ayarza como un área de uso múltiple tipo III, lo que permitirá que pueda conservarse en forma adecuada.

La investigación en la Laguna de Ayarza es escasa por lo que la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), a través de estudios especiales realizados por algunos de sus alumnos de postgrado, pretende ahondar en varios aspectos y uno de ellos es el que se abordará en este estudio relacionado con la carga contaminante y el volumen de sedimentos que llegan a la Laguna.

Anteriormente la ERIS realizó estudios de calidad del agua para los Lagos de Amatitlán y Atitlán que servirán de referencia para esta investigación.

1.6. Justificación

La Laguna de Ayarza es un ecosistema único en la región sur-oriente de Guatemala que cuenta con pocos remanentes naturales, por lo que la investigación pretende, apoyándose en los resultados obtenidos, servir de base para tomar acciones de conservación de la laguna y disminuir su contaminación.

Debido a los recientes problemas surgidos en los lagos y lagunas del país y a los problemas de las cuencas cercanas a esta laguna, se ve la necesidad de identificar las actividades que pueden afectarla y ocasionar impactos negativos e irreversibles a largo plazo.

Con los resultados de la investigación se pretende determinar la existencia de carga contaminante en la laguna que puede favorecer la eutrofización y aumentar el volumen de sedimentos que llega a la misma, lo que puede ocasionar el aumento de los niveles de nutrientes que ingresan a la laguna.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1. Lagos y Lagunas

La vida del hombre depende de las fuentes de agua dulce, que representa apenas el 2.5 % del agua existente en nuestro planeta bajo diversas formas. Alrededor del 70 % del agua dulce superficial está contenida en los lagos; estos son cuerpos de agua de enorme importancia para el hombre en tanto son reservorios de un recurso vital, proveen agua para consumo humano e industrial, posibilitan el riego y la generación de energía eléctrica, sustentan el desarrollo de la pesca recreacional y comercial, brindan espacios para el esparcimiento y el turismo, etc.

Los lagos son cuerpos de agua permanentes, por lo general de dimensiones grandes o medianas, cuya profundidad impiden que se sequen incluso durante los estíos más prolongados.

Las lagunas, de menor superficie que los lagos, pueden llegar a secarse durante el verano; además, por su menor profundidad, no suelen presentar el ciclo térmico y en su mayoría son estacionales y salinas.

En un lago grande se distinguen las siguientes zonas:

- Zona Litoral: con vegetación enraizada a lo largo de la orilla.
- Zona Limnética: aguas abiertas con fitoplancton.
- Zona Profunda: con organismos heterótrofos por falta de luz suficiente para hacer fotosíntesis.

En las regiones templadas las aguas de los lagos suelen estar fuertemente estratificadas en el verano. La parte superior más cálida (Epilimnion) se aísla de la más fría (Hipolimnion) por una zona llamada Termoclina que actúa como barrera ante el intercambio de materiales. Esto hace que pronto sea insuficiente el suministro de O₂ en el hipolimnion y de nutrientes en el epilimnion. Cuando llega el otoño se enfría la capa

superior y, con la acción del viento, las aguas se mezclan. Al mezclarse las aguas suele haber explosiones de fitoplancton porque la agitación del agua hace aflorar nutrientes a la superficie.

La producción primaria en estos ecosistemas suele depender de la naturaleza química de la cuenca y de los aportes que le llegan por afluentes o desde el fondo.

Los lagos someros suelen ser más fértiles, porque a mayor profundidad hay menor producción.

2.1.1. Lagos Eutróficos y Oligotróficos

Según la abundancia de nutrientes (fosfatos y nitratos) se distinguen dos tipos de lagos:

a) Eutróficos

Se caracterizan por sus aguas ricas en nutrientes lo que facilita la proliferación de algas. Cuando las algas mueren son descompuestas por las bacterias en procesos aeróbicos que consumen el oxígeno. Al terminarse el oxígeno muchos restos orgánicos quedan depositados en el fondo sufriendo procesos anaeróbicos que producen Acido Sulfhídrico (H_2S) desprendiendo malos olores y otros gases, dando un aspecto nauseabundo a las aguas en los casos de eutrofización extrema.

En estos lagos la luz penetra con dificultad en el agua y los seres vivos que se encuentran son los característicos de las aguas pobres en oxígeno (barbos, tencas, gusanos, etc.).

b) Oligotróficos

Sus aguas son pobres en nutrientes y, por tanto, las algas no proliferan excesivamente, las aguas son claras y penetra la luz con facilidad, hay oxígeno en abundancia y la flora y la fauna es típica de aguas bien oxigenadas (truchas, larvas de libélulas, etc.)

2.2. Carga Contaminante

Los lagos y lagunas son vulnerables a la degradación ambiental por causas de origen antrópico. La escasa renovación de las aguas en ciertos lagos y lagunas los expone sensiblemente a la contaminación producto de las actividades del hombre en sus áreas costeras y en toda su cuenca de aporte. La acumulación de sedimentos, agroquímicos, desechos industriales y efluentes urbanos no tratados que se vuelcan directamente o a través de sus afluentes, constituyen una carga contaminante que produce una degradación creciente de su calidad ambiental, de lenta y difícil recuperación. La carga contaminante es la cantidad de contaminantes de agua, aire y suelo producidos en una región que puede ocasionar un impacto significativo en el área de estudio.

Siendo receptores de todos los aportes de su cuenca de drenaje, el estado de la calidad de las aguas de lagos y lagunas y de sus ecosistemas resulta un indicador de la situación ambiental de esa cuenca; además de la del propio cuerpo de agua.

Por ello la preservación y la restauración de los lagos constituyen un imperativo que debe plasmarse en acciones de evaluación, planificación, gestión y control de los recursos naturales y del saneamiento ambiental de la cuenca. Estas acciones demandan un conocimiento sistemático de los distintos componentes de los ecosistemas y de las relaciones que los vinculan, que permita emplear las herramientas de modelación y análisis disponibles en la actualidad así como el desarrollo de otras nuevas. Por lo tanto, la disponibilidad de una base continua y suficientemente amplia

de información sobre los lagos y sus cuencas constituye una condición de partida para un manejo sustentable sus recursos.

2.3. Procesos Geológicos

La dinámica de la hidrósfera y de la atmósfera sobre la superficie terrestre produce un lento cambio conocido con el nombre de procesos geológicos externos. Estos se dividen en cuatro grandes grupos, los cuales conocemos como: meteorización, erosión, transporte y sedimentación. La meteorización es el proceso de destrucción de las rocas ya sea física, química y biológica. La erosión es el desgaste superficial del suelo debido a la fuerza de la lluvia o de la escorrentía, el viento, la fuerza gravitacional o las actividades humanas. El desgaste produce un desplazamiento de las partículas resultantes de la meteorización, llamado transporte, para finalmente acumularse las partículas en los sitios bajos, donde la gravedad ejerce de fuerza selectora del grano y esto último es lo que se conoce como sedimentación.

2.3.1. Erosión

La erosión es un proceso natural que se ve fuertemente acelerado por los cambios en el uso del suelo y en el relieve. En este proceso los suelos varían de espesor, desestabilizando los taludes, sobrecargando de sedimentos y otros materiales de arrastre a los sistemas naturales o artificiales que controlan el excedente de escorrentía superficial (ríos, humedales, canales, lagos y embalses), los cuales terminan anegados o colmatados, provocando desbordamientos e inundaciones en las comunidades vecinas o en las actividades agropecuarias e industriales que se encuentren en la parte baja de las cuencas.

El incremento en la erosión aumenta la carga de sedimentos en los ríos y en las desembocaduras afectando los procesos de oxigenación y produciendo la turbiedad en el agua. El incremento de erosión provoca intrínsecamente un aumento en la

escorrentía y una reducción en la infiltración, afectando el comportamiento de los flujos superficiales y subterráneos.

2.3.2. Sedimentación

La sedimentación es el proceso de acumulación de materiales después de haber sido erosionados y transportados. Las características de los depósitos dependen de la naturaleza del agente de transporte. En el caso de los ríos, mares o viento el material se deposita cuando el movimiento es menor que la velocidad de deposición de la carga.

Los materiales formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos reciben el nombre de sedimentos

3. DIAGNÓSTICO

El presente diagnóstico formado por recopilación bibliográfica nos permite conocer acerca del entorno inmediato de la laguna es decir la situación de la Cuenca y de la laguna en sí.

3.1. Ubicación

El área de la Laguna de Ayarza, corresponde a la región fisiográfica de la Tierra Altas Volcánicas, con suelos franco arcillosos, que se han desarrollado sobre ceniza volcánica, a elevaciones altas y con alta susceptibilidad a la erosión.

La Laguna de Ayarza se encuentra ubicada geográficamente al Noroeste de Guatemala, al Norte del Departamento de Santa Rosa, entre los municipios de Casillas

y San Rafael Las Flores, a una altitud de 1,409 metros sobre el nivel del mar y tiene un área de 13.81Km² y un perímetro de 19.74 km

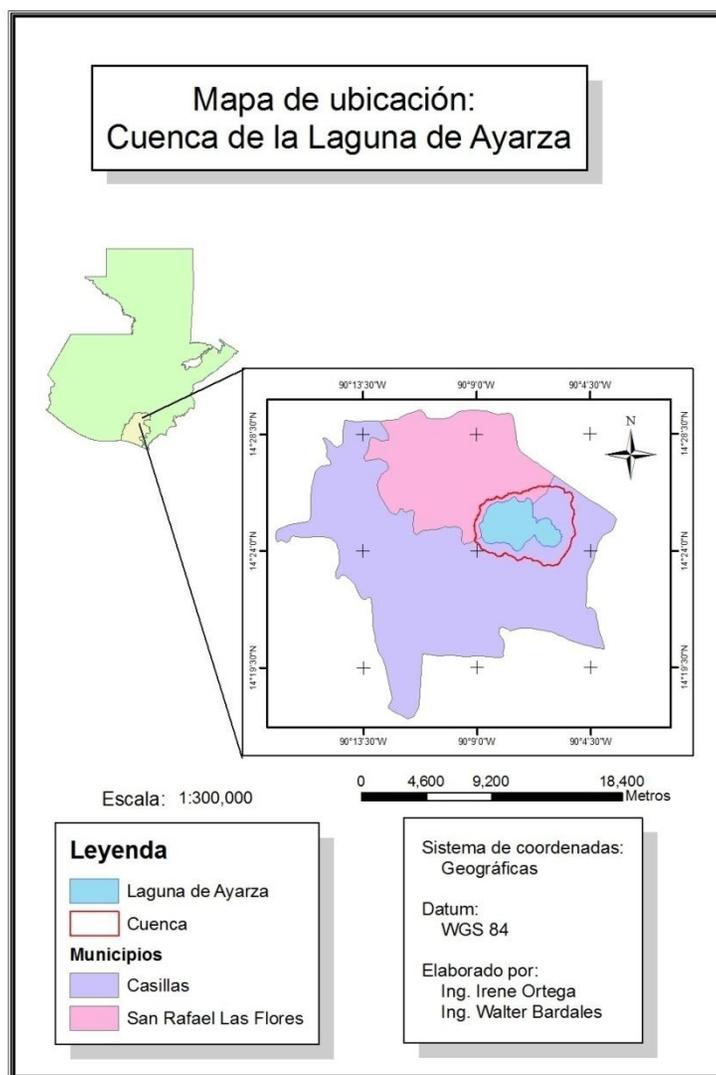


Figura 1 Mapa de Ubicación de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

La Cuenca de la Laguna tiene un área de 31.12 km², de los cuales el 70%, es decir 21.79 km², pertenece al municipio de Casillas y el restante 30% equivalente a 9.33 km² pertenece al municipio de San Rafael Las Flores. El perímetro de la Cuenca es de 31 km.

3.2. Vialidad

El acceso a la Laguna de Ayarza se puede realizar por 4 vías que son:

Cuadro1: Accesos a Laguna de Ayarza

Accesos	Descripción
No. 1	Ciudad capital, Barberena, Nueva Santa Rosa, y Casillas donde se encuentra la carretera en buen estado, de Tapalapa, Pinos Altos y Ayarza, con terracería transitable todo el año.
No. 2	Ciudad Capital, Sanarate, San Rafael las Flores, San Rafaelito, con carretera asfaltada, San Rafaelito y Laguna de Ayarza con terracería transitable.
No. 3	Ciudad Capital, cruce en Km. 16.5 Fraijanes, Lo De Dieguez, Aldea el Salitre, Tapalapa, Pinos Altos y Ayarza, con terracería transitable todo el año.
No. 4	Ciudad capital, Barberena, Jutiapa, Aldea Cieneguilla, Ayarza.

3.3. Características Bioclimáticas

3.3.1. Clima

Según Thornwaite, el clima del área es templado, sin estación fría bien definida, húmedo con invierno seco, con temperaturas que oscilan entre los 18 y 23°C. En los meses de Marzo y Abril el calor se acentúa sin llegar a ser sofocante, algunas comunidades vecinas no experimentan cambios significativos, pues se encuentran en partes altas y montañosas. Durante los meses de Noviembre a Enero soplan vientos propios de la estación fría.

La precipitación pluvial oscila entre 1,100-1,200 mm anuales, distribuidos en aproximadamente 120 días, siendo los meses de junio y agosto en donde se registran las precipitaciones más altas de la temporada. Durante el invierno llueve con bastante regularidad, 20 días aproximados al mes de lluvia, lo cual siempre van acompañadas de actividad eléctrica.

La humedad relativa media es de 80% y la velocidad del viento es de 10 kilómetros por hora, por lo que se considera moderada.

La relación evapotranspiración es de 5.6 milímetros.

Cuenta con una latitud de 14°25'00", longitud 90°07'30".52.

3.3.2. Zona de Vida

Según Villar, la región en que se encuentra la Laguna de Ayarza corresponde al Bioma Bosque de Montaña y según Holdridge (1978), pertenece a la Zona de Vida de Bosque Húmedo Subtropical Templado bh-S(t)

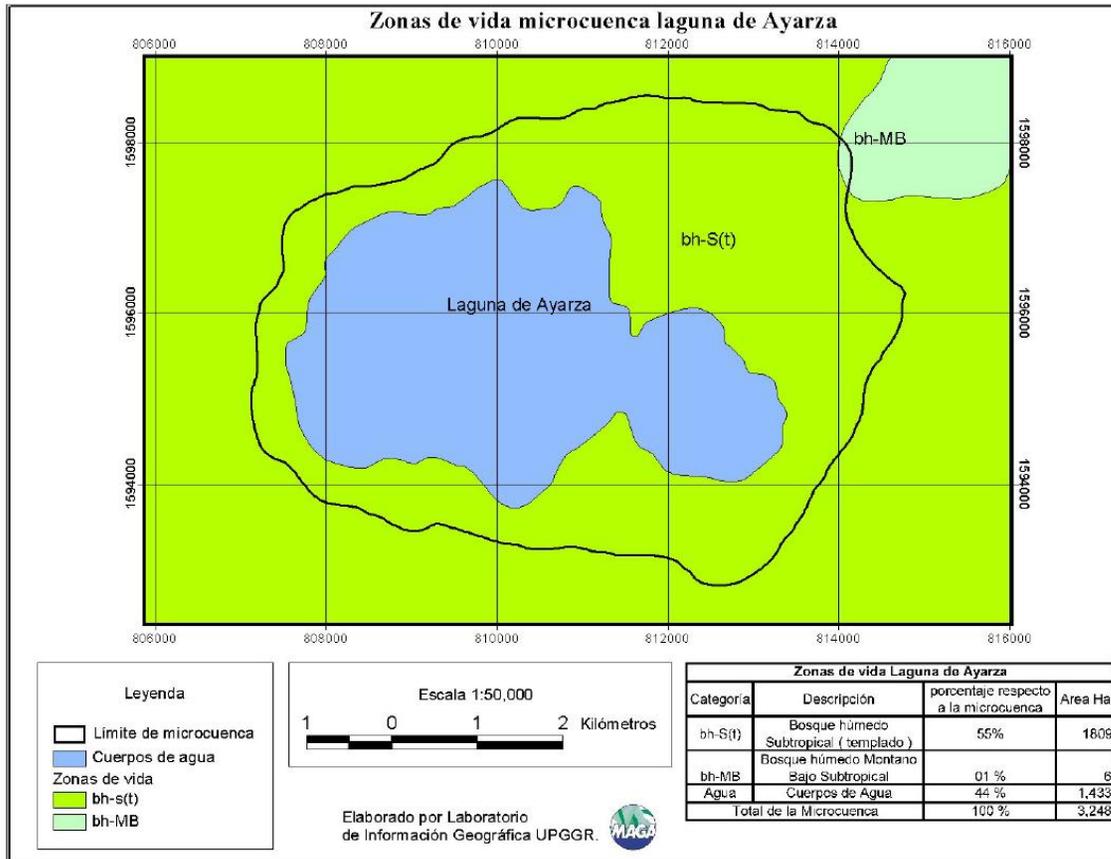


Figura 2: Mapa de Zonas de Vida de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

3.3.3. Suelo

Los dos tipos de suelos sobre materiales volcánicos mezclados o de color oscuro, en pendientes inclinadas que se encuentran alrededor de la Laguna son los siguientes:

- **Suelos de Ayarza:** Son moderadamente profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica o toba cementada de color claro en un clima húmedo-seco. La serie de estos suelos tiene un espesor que varía entre 40 y 100 cm pendientes inclinadas que van del 20 hasta el 70%, a altitudes entre 1,300-2,000 msnm, la vegetación natural consiste en encino, pino, pastos y maleza. Los usos más adecuados para este suelo son el pastoreo controlado y la cobertura forestal, ya que es muy susceptible a la erosión en zanjas y laminar.

Perfil del Suelo Ayarza: Franco limoso.

- El suelo superficial tienen un espesor de 20 a 25 cm de profundidad, son bien drenados y textura franco limosa de consistencia friable cuando está húmedo, pero duro cuando está seco, de color café muy oscuro a café grisáceo oscuro. Tienen altos contenidos de materia orgánica. La estructura es granular suave y la reacción es ligeramente ácida con un pH de 6 a 6.5.
 - El subsuelo a una profundidad entre 50 a 75 cm es de una textura franco arcilloso arenoso, también de consistencia friable cuando está húmedo y duro cuando está seco de color café oscuro. La estructura es granular y la reacción es medianamente ácida con pH de 5.5 a 6.0.
- **Suelos de Jalapa:** Son poco profundos, excesivamente drenados, escarpados, cimentados sobre ceniza volcánica cementada de color claro o toba, en un clima seco a húmedo-seco y cálido. Ocupan relieves inclinadas a altitudes medianas entre 300 a 1,200 msnm. Tiene una vegetación natural abierta de pino con una cubierta de pastos, tienen baja capacidad para pastoreo y la cobertura forestal es lo más aconsejable, su riesgo de erosión es muy alto y no debería labrarse, ya que ocupan pendientes inclinadas que varían desde 25 a 40% pero en muchos lugares es del 75%.

Perfil del Suelo Jalapa: Franco arenoso fino

- El suelo superficial con un espesor de 10 a 30 cm de profundidad, y de textura franco arenoso fino y consistente, de color gris a gris oscuro. Tiene contenidos de materia orgánica media, con pH de 5.5 que le da reacción de fuerte a medianamente ácida.

- El subsuelo a una profundidad de alrededor de 30 cm tiene una textura franco o franco arenoso fino, de color amarillo grisáceo, que es duro cuando está seco pero de consistencia friable cuando está húmedo. Carece de estructura y la reacción es fuertemente ácida con un pH de 4.5 a 5.
- El substrato es de toba volcánica o ceniza volcánica pomácea firmemente cementada de color claro, que en muchos lugares es micácea.

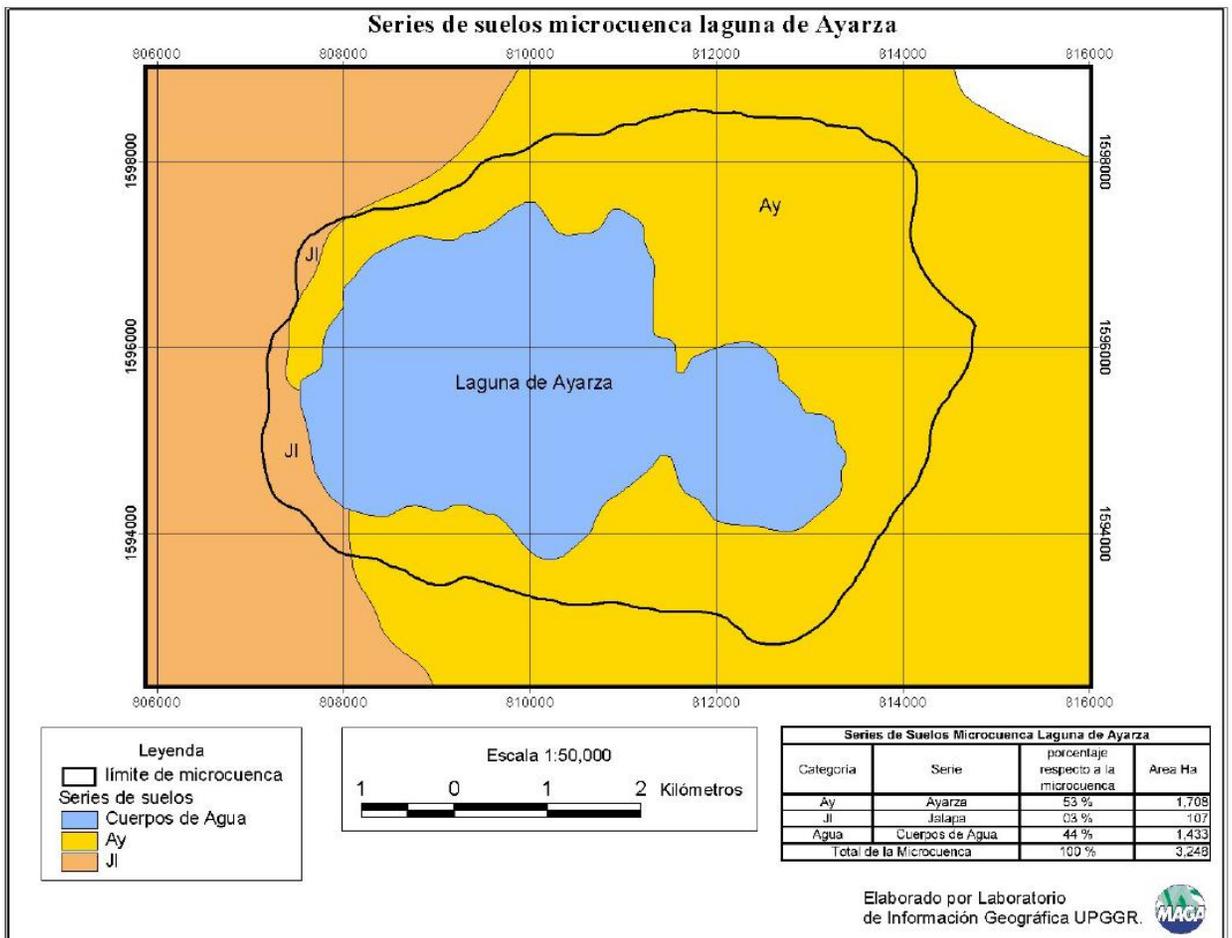


Figura 3: Mapa de Serie de Suelos de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

3.3.4. Topografía

La Laguna de Ayarza está localizada a una altura de 1,420 msnm. Por encontrarse dentro de una caldera, está rodeada por montañas, luego su topografía es bastante quebrada, conformada por acantilados y taludes escarpados en su entorno, que poseen pendientes muy pronunciadas que van de 20 a 70%.

3.3.5. Fisiografía

La Laguna de Ayarza se encuentra ubicada dentro de la clasificación de Tierras Altas Volcánicas, dentro de la región IV, en el Sur-Este de Guatemala. Esta región refleja un paisaje donde la actividad volcánica ha sido intensa y cubrió en tiempos pasados, las formaciones de tierra existentes con erupciones de tipo grita, lanzando principalmente basalto y riolitas sobre la base sedimentaria de la región.

Así mismo se encuentra ubicada dentro del paisaje denominado Zona de Montaña, correspondiente a la división fisiográfica de la Altiplanicie Central. Esta región es seccionada con elevaciones típicas que varían entre los 900 y 1800 msnm. Ha sido cubierta diferentes veces de cenizas y lava volcánica. La superficie se caracteriza por barrancos profundos y colinas fuertemente onduladas. La Laguna de Ayarza ofrece formas de tierra adicionales en contraste a los basaltos masivos y cortados volcánicos, evidenciando más su origen volcánico, ya que se cree que la Laguna es el cráter de un antiguo volcán.

Esta región también se caracteriza por sus altas montaña como la de Miramundo, su cadena de volcanes entre los que destacan los de Jumaytepeque y Cerro Redondo, y las rocas volcánicas del Terciario. En esta faja destacan enormes depresiones, entre ellas las de Ayarza, así como anchos valles planos constituidos por depósitos de pómez cuaternarios

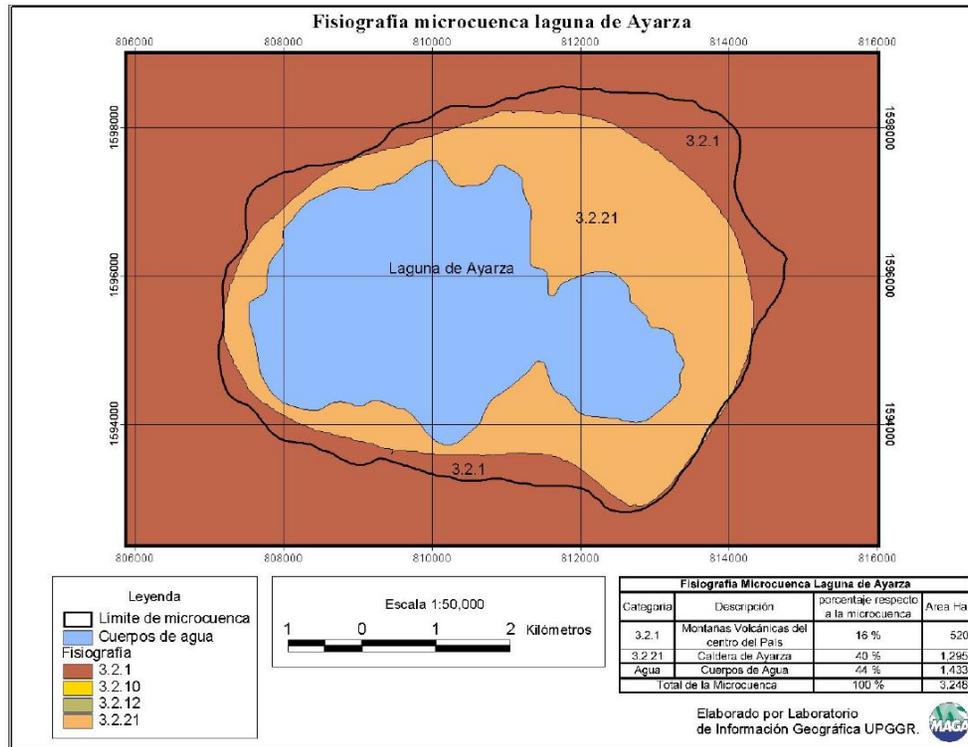


Figura 4: Mapa de Fisiografía de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

3.3.6. Geología y Geomorfología

La historia geológica del departamento de Santa Rosa está basada fundamentalmente en proceso de vulcanismo de gran intensidad. Casi todos los rasgos son de vulcanismo joven, que data del Cuaternario Temprano; cuando la actividad ígnea estaba en su apogeo ocurrieron generalizadas erupciones de lava fluida capaz de hacer que los volcanes tuvieran forma cónica como es el caso del volcán Jumaytepeque.

En algunas ocasiones las erupciones no fueron de tipo central, sino a lo largo de fisuras, lo que dio lugar a la formación de montecillos alineados. En otras ocasiones fueron explosiones que lanzaron material pómez y cenizas que rellenaron todos los valles; este fue el origen de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.

Según diversos autores, dos volcanes unidos entraron en actividad inusual y colapsaron en un evento catastrófico, por lo que la cuenca es una caldera que tiene

forma de ocho y presenta paredes fuertemente escarpadas y constituidas en gran parte por rocas volcánicas terciarias, principalmente por riolita porfírica e intercalaciones de piroclásticos.

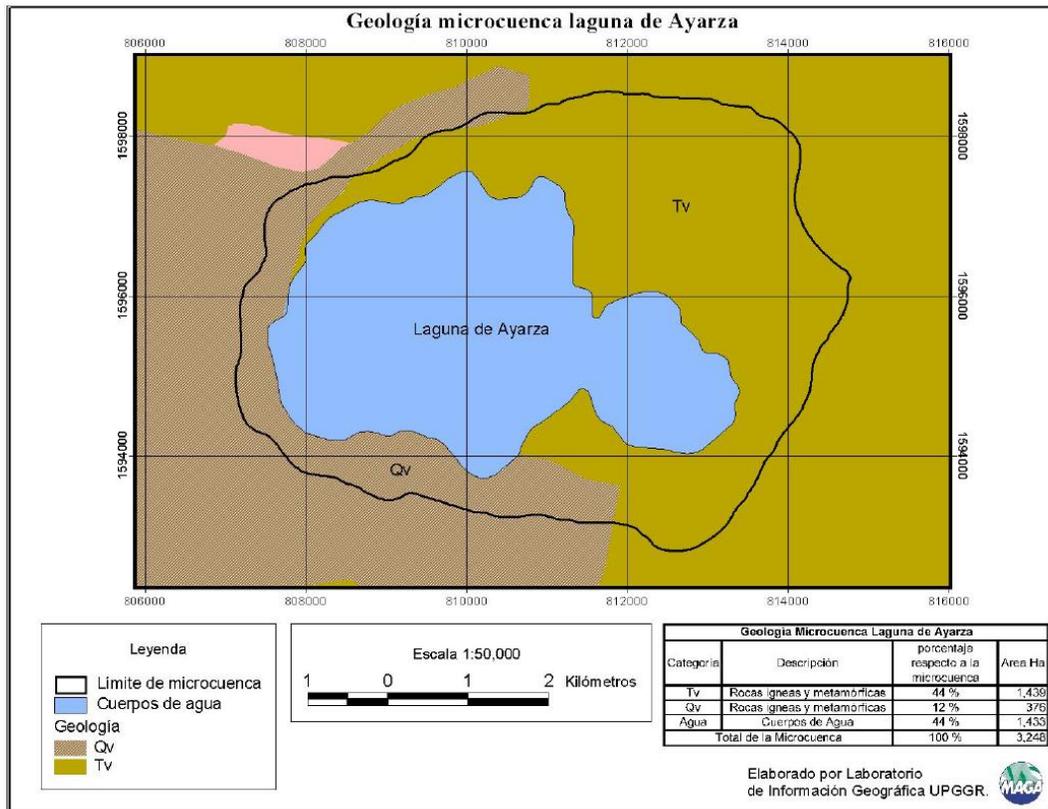


Figura 5: Mapa de Geología de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

3.4. Características de los Recursos Hídricos

La Cuenca de la Laguna de Ayarza, pertenece a la vertiente del Océano Pacífico y no posee ningún drenaje conocido, es una cuenca cerrada por tratarse de una caldera volcánica. Tampoco existe ningún afluente que vierta sus aguas a la Laguna, solamente corrientes intermitentes en el invierno.

Posee aguas cristalinas de matiz azul cobalto y turquesa, al no tener aportes de agua superficial, se piensa que su alimentación es subterránea.

3.5. Flora

Dentro de los ecosistemas naturales prioritarios para el área de la Laguna de Ayarza se encuentran:

3.5.1. Bosque de Coníferas

El Bosque de Coníferas se distribuye principalmente en el sur de la Laguna. Se caracteriza por la presencia de *Pinus sp.* Y se encuentra bastante fragmentado debido a la existencia del cultivo de café, la ganadería y la expansión de las áreas ocupadas por los centros urbanos, aldeas y caseríos.

Según el Mapa de Ecosistemas elaborado por el Instituto nacional de Bosques (INAB) en el 2000, este tipo de bosques corresponde a al ecosistema Bosque de Coníferas Montano del Nivel Inferior, que es un ecosistema húmedo y muy húmedo, en donde se da como especie dominante el *Pinus maximinoi* y donde se encuentran frecuentemente otras especies como: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus tecunumanii*, *Byrsonima crassifolia*, *Calea spp.*, *Psidium spp.*, *Eupatorium sp.*, *Quercus spp.* y *Rondeletia spp.*

3.5.2. Bosque Mixto

El Bosque Mixto se encuentre en el Noreste de la Laguna y su distribución en el área es bastante restringida a un pequeño parche cercano a la carretera, en el sitio llamado El Pinal (cercano a El Quequexque), con una altura aproximada de 1,600 msnm. Este bosque aunque es mixto, tiene una predominancia de especies latifoliadas, principalmente de especies de *Quercus sp.* Es un bosque bastante intervenido, poco denso, con un sotobosque pobre, en donde se puede observar, solamente un dosel de la copa de los árboles, que en este sitio alcanzan una altura máxima de 20 metros y un DAP de aproximadamente 30 a 45 cm.

Según el Mapa de Ecosistemas elaborado por el INAB en el 2000, este tipo de bosques corresponde a al ecosistema Bosque Semideciduo Mixto Montano del Nivel Inferior que

es un ecosistema seco, en donde se da como especie dominante el *Quercus sp.* y el *Pinus oocarpa.* y donde se encuentran frecuentemente otras especies como: *Lysiloma spp.*, *Bursera bipinnata*, *Eupatorium spp.*, *Rhus spp.*, *Agave spp.*, *Cordia spp.*, *Byrsonima crassifolia*, *Psidium spp.*, *Calliandra spp.*, *Acacia pennatula*, *Croton spp.* y *Pachyrrizus eurosus.*

3.5.3. Bosque Latifoliado

Este ecosistema se encuentre bastante fragmentado, por la intervención de la ganadería y plantaciones de café y aguacate, entre los 1,500 y 2,000 msnm.

Según el Mapa de Ecosistemas elaborado por el INAB en el 2000, este tipo de bosques corresponde a al ecosistema Bosque Semidecíduo Latifoliado Montano del Nivel Inferior, que es un ecosistema seco, en donde se dan como especies dominantes, las especies de *Quercus spp.* y donde se encuentran frecuentemente otras especies como: *Gliricida sepium*, *Bursera bipinnata*, *Cordia alliodora* y *Tecoma stans.*

3.6. Fauna

Las especies presentes en las orillas de la laguna son los siguientes:

- *Najas guadalupensis* (Náyade del sur)
- *Potamogeton illinoensis* (Maleza de agua)
- *Scirpus californias* (Junco)
- *Cyperus sp*

Se reporta que la Laguna de Ayarza mantiene una población considerable de cangrejos (*Potamocarcinus guatemalensis*) y Amphipoda en las orillas de la misma. En 1958, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) sembró de forma masiva *Cichlasoma gutulatum* y *Tilapia mossambica*, lográndose la multiplicación adecuada de estos peces. En la actualidad, las especies ícticas más

representativas y que más capturan los pescadores en la Laguna de Ayarza son: la tilapia (*Oreochromis niloticus*), la mojarra (*Archocentrus nigrofasciatus*) y el guapote tigre (*Parachromis managuensis*), siendo esta última la principal especie de pesca.

Un total de 18 especies de anfibios se registran para la zona de Ayarza distribuidas de la siguiente manera: 14 especies de ranas y sapos, 3 especies de salamandras y 1 cecílido. En cuanto a reptiles comprende un total de 68 especies de las cuales 22 especies son saurias y 46 serpientes incluyendo 4 especies venenosas. Otras especies de amplia distribución que están presentes en los alrededores de la Laguna, son las serpientes *Stenorhina freminvillei*, *Drymarchon corais*, *Drymobius margaritiferus*, *Dryadophis melanolomus* y *Lampropetis triangulum*. Debido a los afloramientos rocosos también se encuentran serpientes venenosas como la cascabel *Crotalus durissus*, y el coral *Micrurus nigrocinctus*.

Los habitantes locales concuerdan en que ya es muy difícil observar en la región mamíferos como los venados (*Odocoileus virginianus*) y tepezcuintles (*Agouti paca*) y que dentro de las especies relativamente comunes todavía se encuentran conejos (*Silvilagus sp.*), ardillas (*Sciurus deppei*), tacuacines y comadreja (*Mustela frenata*).

3.7. Arqueología

En las áreas cercanas a los márgenes de la Laguna de Ayarza existen 7 sitios arqueológicos registrados en el DEMOPRE, de los cuales 2 se ubican dentro del polígono de protección propuesto en el “Estudio Técnico del Área de Protección Especial Laguna de Ayarza”, Santa Rosa. Siendo estos; Media Cuesta y Laguna de Ayarza, este último también conocido con los nombres de La Piedra o La Peña de Ayarza.

3.8. Infraestructura

La comunicación con todas las aldeas y caseríos es a través de carreteras de terracería que en época seca se mantienen en estado transitable por el mantenimiento que le proporciona las comunidades con el apoyo de la municipalidad; sin embargo, en época de lluvia, en su mayoría se mantienen en mal estado. Los centros poblados cercanos a la aldea Ayarza, realizan relaciones comerciales con los departamentos de Jalapa y Jutiapa, como consecuencia de que existen mejores carreteras y menores distancias.

3.9. Población Alrededor de la Laguna de Ayarza

Existen 5 poblados, entre aldeas, fincas, caseríos y parajes, que influyen directamente en el área de La Laguna, por sus diferentes actividades, existe actualmente una población aproximada para el 2010 de 1,165 habitantes. En el Cuadro 2 observamos la población actual y su proyección futura para el 2,015 y 2,020, asimismo en la Figura 6 está la ubicación de estas comunidades dentro de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.

Cuadro 2. Población de las Comunidades Cercanas a la Laguna de Ayarza

No.	Poblados	Tipo de Poblado (según INE)	Población			
			2,002	2,010	2,015	2,020
I. Municipio de San Rafael Las Flores						
1	Media Cuesta	Aldea	950	1,160	1,315	1,490
Total			950	1,160	1,315	1,490
II. Municipio de Casillas						
1	El Pedrerito	Paraje	70	88	102	118
2	El Subinal	Finca	59	74	86	99
3	Los Pinos	Paraje	43	54	63	72
4	Los Ranchos	Caserío	43	54	63	72
Total			215	271	313	362
Total Poblados en la Cuenca Laguna de Ayarza			1,165	1,431	1,628	1,852

Fuente: INE, Guatemala, 2002. Censo de Población y Proyección de Población por elaboración propia.

Mapa Poblados que están dentro de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

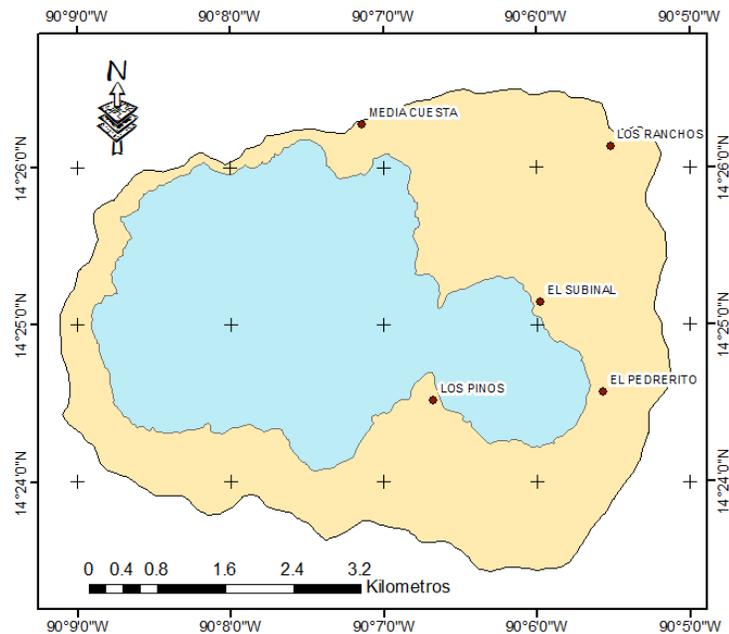


Figura 6 Mapa Poblados que están dentro de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

3.10. Agua y Saneamiento

3.10.1. Agua

En cuanto al Servicio de Agua las comunidades de Media Cuesta, El Pedrerito y Los Ranchos, tienen agua entubada q extraen a través de un chorro de uso exclusivo o para varios hogares. Este servicio presenta deficiencia por la constante escasez, debido a que no existe suficiente agua para abastecimiento, esta agua proviene básicamente de nacimientos cercanos a estas poblaciones (Centro Integral Siwan Tukr, 2,008). (Ver Cuadro 3)

Las 5 comunidades que se encuentran alrededor de la Laguna cuentan con pozos para la extracción de agua y en el caso de las comunidades El Subinal y Los Pinos esta es su única forma de abastecerse del vital líquido. (Ver Cuadro 3)

Cuadro 3. Hogares por Tipo de Servicio de Agua

Población	Total Hogares	Chorro			Pozo	Camión o Tonel	Río, Lago o Manantial	Otro Tipo
		De Uso Exclusivo	Para Varios Hogares	Público (Fuera del Local)				
Municipio de San Rafael Las Flores								
Media Cuesta	180	173	2	-	3	-	-	2
Municipio de Casillas								
El Pedrerito	12	6	-	-	5	-	-	1
El Subinal	11	-	-	-	11	-	-	-
Los Pinos	8	-	-	-	8	-	-	-
Los Ranchos	6	2	-	-	4	-	-	-

Fuente: INE, Guatemala, 2002. Censo de Población

3.10.2. Aguas Residuales

Relacionado a las aguas residuales, la comunidad de Media Cuesta es la única que cuenta con red de drenaje con un 3% de cobertura del servicio, que representan 5 hogares conectados, es decir, una población de 25 habitantes y el resto de la población posee fosa séptica, excusado lavable y en su mayoría, es decir un 89%, que totalizan 149 hogares o 745 habitantes, posee Letrinas o Pozo Ciego.

El resto de las comunidades cercanas a la Laguna, al no contar con drenaje, utilizan Letrinas (Ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Hogares por Tipo de Servicio Sanitario

Población	Total Hogares	Total de Hogares que Dispone de Servicio Sanitario	De uso Exclusivo para el Hogar				Compartido entre Varios Hogares				Total de Hogares que No Dispone de Servicio Sanitario		
			Total	Inodoro Conectado a		Excusado Lavable	Letrina o Pozo Ciego	Total	Inodoro Conectado a			Excusado Lavable	Letrina o Pozo Ciego
				Red de Drenaje	Fosa Séptica				Red de Drenaje	Fosa Séptica			
Municipio de San Rafael Las Flores													
Media Cuesta	180	168	168	5	12	2	149	-	-	-	-	-	12
Municipio de Casillas													
El Pedrerito	12	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	11
El Subinal	11	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	10
Los Pinos	8	3	1	-	-	-	1	2	-	-	-	2	5
Los Ranchos	6	4	4	-	-	-	4	-	-	-	-	-	2

Fuente: INE, Guatemala, 2002. Censo de Población

3.10.3. Desechos Sólidos

La situación de los desechos sólidos es compleja ya que solo en la comunidad de media Cuesta y en un pequeño número de hogares cuentan con servicio municipal o privado de recolección de basura.

La gran mayoría no poseen ningún servicio de recolección de desechos, solamente algunos vecinos queman o entierran la basura en sus terrenos y la gran mayoría la vierten en su terreno o en terrenos ajenos. (Centro Integral Siwan Tukr, 2,008). (Ver Cuadro 5)

Cuadro 5. Hogares por la Forma de Eliminar la Basura

Poblado	Total Hogares	Servicio Municipal	Servicio Privado	La Quemán	La Tiran en Cualquier Lugar	La Entierran	Otra
Municipio de San Rafael Las Flores							
Media Cuesta	180	1	2	76	63	37	1
Municipio de Casillas							
El Pedrerito	12	-	-	8	4	-	-
El Subinal	11	-	-	6	4	1	-
Los Pinos	8	-	-	6	2	-	-
Los Ranchos	6	-	-	-	5	-	1

Fuente: INE, Guatemala, 2002. Censo de Población

3.11. Tenencia de la tierra

La situación jurídica sobre la tenencia de la tierra es en su gran mayoría propiedad privada, es decir que se cuenta con documentos, ya sean inscritos en el Registro General de la Propiedad o documentos de compra-venta elaborados por un notario, lo que da fe del movimiento de posesión de esas tierras en el tiempo.

Por otro lado, el Decreto No. 126-97, Ley Reguladora de las Áreas de Reserva Territoriales del Estado de Guatemala (OCRET), en su definición y ámbito declara que son áreas de reserva del Estado las áreas contenidas en la franja terrestre de 200 metros a alrededor de los lagos, la cual corresponde a 97.34 ha. OCRET y las Municipalidades involucradas no cuentan con un catastro antiguo, ni actual, que permita aclarar el panorama sobre la situación de tenencia de tierra en la cuenca de la Laguna de Ayarza.

3.12. Situación Legal

En conformidad con la Ley de Áreas Protegidas la Laguna de Ayarza está considerada como área protegida bajo la categoría de Área de Protección Especial. De conformidad con lo establecido en la Ley de Áreas Protegidas, previo a declarar un área protegida por el Congreso de la República se hace necesario realizar un

estudio técnico que permita conocer las condiciones socio ambientales del área a declarar.

Las áreas de Protección Especial áreas naturales consideradas así; por sus valores biológicos geomorfológicos, escénicos, que representan una muestra de los diferentes ecosistemas naturales del país, y algunos sitios de importancia por sus invaluable características arqueológicas, históricas, o de generación de bienes y servicios indispensables para contribuir a garantizar el desarrollo sostenible del país, son protegidas, aunque no están legalmente declaradas. Poseen características meritorias para su conservación, pero en algunos casos, carecen de estudio técnico que dictamina su categoría de manejo.

En el caso de la Laguna de Ayarza cuenta con una estudio técnico realizado por Asociación de Desarrollo Sostenible (ADES) la entidad coadministradora del área; dicho estudio se encuentra en el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).

3.13. Situación Ecológica-Cultural

En la actualidad no existe ninguna restricción en el área de la Laguna de Ayarza para la conservación del ambiente, ni algún procedimiento educativo para indicar la forma de mantenimiento de los recursos existentes. El desarrollo de la agricultura en su entorno conlleva el riesgo de pérdida de suelos y en consecuencia, la degradación del medio natural.

Existe una tala inmoderada de los bosques, probablemente por la falta de interés o por necesidad energética de personas lugareñas.

3.14. Turismo Ecológico

El área como en todos los lugares de baja capacidad de soporte turístico, es utilizada en la actualidad solamente por la población local o de la región durante los feriados en forma espontánea.

4. INVENTARIO DE ACTIVIDADES

Las principales actividades económicas productivas son: La producción y comercialización de los cultivos de café, maíz, frijol, papa, cebolla, legumbres, tomate, chile pimiento, caña de azúcar y la pesca.

Complementariamente en forma artesanal se dedican a la elaboración de tejidos de algodón, cestería, candelas, cuero, teja de barro, lazos y redes de fibra de maguey. La producción industrial se ha limitado a trapiches de panela, aserraderos y beneficios de café.

Para el caso de la región circundante a la Laguna de Ayarza, los ingresos que perciben las familias están ligados a la producción agropecuaria. Especialmente el café, se ha constituido en uno de los cultivos que más aporta a los ingresos; así también se generan ingresos a través de la actividad pecuaria, la cual es de menor escala y es desarrollada por familias que cuentan con mejores recursos económicos.

Entre los cultivos importantes de la región, según el “Plan de Manejo Sostenible de los Recursos Naturales del Área de Protección Especial Laguna de Ayarza”, elaborado por Centro Integral Siwan Tukr, en 2,008 se pueden identificar los siguientes:

- **Café** en un 45% del total de las fincas investigadas.
- **Caña de azúcar** en un 9%, es utilizado como principal materia prima para la elaboración de la panela.
- **Frijol** en un total del 13% del total de las fincas investigadas.
- **Maíz** el 27% del total de las fincas investigadas.
- **Tomate** con un 6% del total de las fincas investigadas.

El comercio interior se verifica por medio de la compra y venta de diversos granos y mercancías que se expenden en tiendas y almacenes del municipio de Barberena. Este intercambio comercial se hace principalmente con la capital de Guatemala, hacia donde

se envían cereales, papas, frijol, café, panela, así como marranos, gallinas, pavos, huevos y frutas. Como parte de este intercambio comercial, se recibe de la capital, medicinas, telas y otros productos de primera necesidad.

5. EVALUACIÓN RÁPIDA DE FUENTES CONTAMINANTES (ERFC)

La metodología de Evaluación Rápida de Fuentes Contaminantes resulta de una serie de proyectos pilotos que tenían interés en obtener experiencia práctica en los temas de Evaluación de Impacto Ambiental en los países en vías de desarrollo. En 1982 la OMS publicó la primera versión titulada “Rapid Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution”, WHO, offset Publication No. 62, Genev. La versión en español titulada “Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación de Aire, Agua y Suelo”, fue publicada en 1984 por ECO/OPS y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Rural de México (SEDUE). La versión mejorada y revisada editada por OMS, fue publicada en 1993 con el título “Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution. by, Alexander Economopoulos”.

La metodología de evaluación rápida proporciona una opción particularmente eficaz para evaluar la naturaleza y las cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos generados por las industrias dentro de un área de estudio También permite evaluar la efectividad de las opciones alternativas para controlar la contaminación.

Este método se basa en experiencias previas documentadas sobre la naturaleza y la cantidad de contaminantes generados por cada tipo de fuente, ya sea con o sin sistemas de control y, como se indica en la Figura 7, hace uso constante de esta información para predecir las cargas de una determinada fuente.

El procedimiento de evaluación rápida ha sido particularmente útil en los países en desarrollo, para el diseño de políticas y estrategias de control ambiental, ya que estos países tienen recursos relativamente modestos.

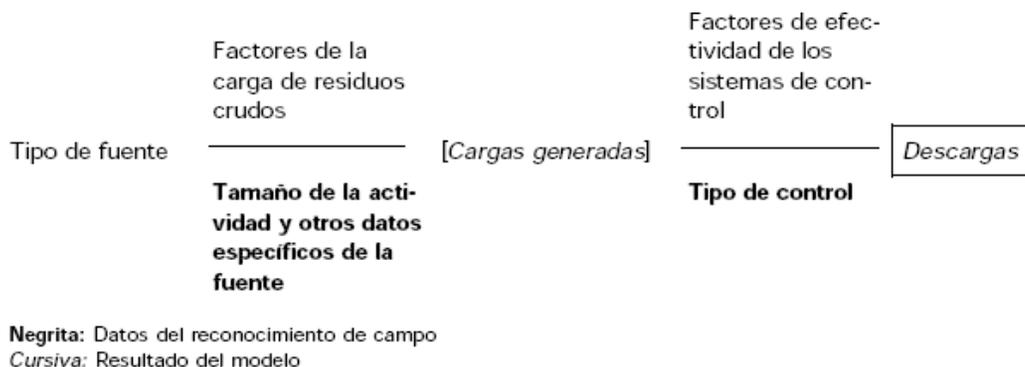


Figura 7. Ilustración del enfoque de ERFC del aire, agua y suelo.

5.1. Ventajas

Entre las ventajas que ofrece el enfoque de evaluación rápida se incluye la realización de inventarios integrales de las fuentes que contaminan el aire en situaciones altamente complejas, en un lapso de solo algunas semanas y con pocos recursos; además, a pesar de la simplicidad del método, el resultado final muchas veces es más confiable que el de los programas de monitoreo directo de las fuentes para los casos que demandan una acción rápida.

Otra de las grandes ventajas del método es que permite estimar adecuadamente la efectividad de los esquemas alternativos de control en relación con su potencial para reducir la carga contaminante. Este último aspecto es un aporte importante para el proceso de formulación de estrategias racionales de control.

El procedimiento de evaluación rápida es sumamente útil para realizar una evaluación inicial de las fuentes y de los niveles de emisión de un área que tenga escasa o ninguna información sobre cargas de contaminación.

También es útil para la selección de áreas prioritarias cuando se realizan monitoreos más extensos; para la conducción de estudios de casos como parte de los programas de salud pública dirigidos al control de la contaminación y para la formulación de

políticas y reglamentos de control de la contaminación enmarcados dentro de las actividades nacionales de salud ambiental.

5.2. Desventajas

Una desventaja del enfoque de evaluación rápida, es la validez estadística de la predicción de los inventarios. En muchos casos las predicciones de una determinada fuente solo se pueden considerar como un dato indicativo porque existe una variación significativa en las emisiones normalizadas entre fuentes similares; por consiguiente, antes de implementar las estrategias, es necesario considerar que las medidas adoptadas inmediatamente después de la evaluación rápida son preliminares y que están sujetas a análisis más detallados.

5.3. Descripción General del Procedimiento de ERFC

La estimación de las cargas liberadas de una determinada fuente, se basa en el uso de los factores adecuados de cargas de residuos que reflejen la experiencia de la medición de fuentes similares.

Cada factor de carga de residuos (ej) se define como la carga normalizada liberada de contaminante (j) expresada en kg/ (unidad de actividad), de una determinada fuente en estudio.

En principio, la "unidad de actividad" seleccionada debe ser proporcional a la carga contaminante generada y debe ser conveniente para el trabajo de campo (los datos disponibles de las actividades de campo se deben expresar en términos de la unidad seleccionada).

La unidad hace que los factores de carga de residuos sean independientes del tamaño de la fuente y del nivel de actividad y permite expresarlos matemáticamente como una función de varios parámetros:

$e_j = f'$ (Tipo de fuente,
Proceso o particularidades del diseño,
Antigüedad de la fuente y complejidad de la tecnología,
Prácticas de mantenimiento y operación de la fuente,
Tipo y calidad de la materia prima,
Tipo, diseño y antigüedad de los sistemas de control,
Tipo o diseño de los sistemas de control,
Condiciones ambientales, etc.)

El nivel de actividad de cada fuente se debe expresar en 1.000 unidades/año, luego, ese valor de actividad se puede multiplicar directamente por los factores de emisión, que siempre se expresan en kg/unidad para calcular las cargas contaminantes de mayor interés expresadas en toneladas/año.

5.4. Aplicación del Procedimiento de ERFC

Para este estudio de la Laguna de Ayarza se aplicó la metodología de Evaluación Rápida de Fuentes Contaminantes (Economopoulos, Alexander, OMS. 1993), específicamente para estimar la carga contaminante de los efluentes domésticos, que ingresan sin tratamiento a la Laguna, pues constituye una de sus principales fuentes de contaminación. A través de la metodología del RUSLE, 1997 se estimaron otras actividades que aportan sedimento a la laguna principalmente la agricultura.

5.4.1. Estimación de Población Servida Actual

Para realizar la estimación de la carga contaminante de los efluentes domésticos para el año 2010, se utilizó como fuente de información el Censo Poblacional de Guatemala del 2002, enfocado a la Aldea de Media Cuesta que pertenece al Municipio de San Rafael las Flores, ubicada dentro de la Cuenca de la Laguna de Ayarza y que cuenta con alcantarillado sanitario. (Ver Cuadro 4 y Figura 6). En el Cuadro 6 se detalla cual es la población servida dentro de dicha comunidad, es decir 840 habitantes; dato que fue utilizado para la aplicación de la ERFC.

Cuadro 6. Población de Media Cuesta con Servicio de Drenaje Sanitario

Poblados	Tipo de Poblado (según INE)	Total Hogares	Hogares conectados a Drenaje Sanitario	Población	Población Servida
Municipio de San Rafael Las Flores					
Media Cuesta	Aldea	180	5	950	25

Fuente: INE, Guatemala, 2002. Censo de Población y elaboración propia.

5.4.2. Estimación de Población Servida en Escenarios Futuros

Posteriormente se procedió a estimar la Carga Contaminante para los años 2015 y 2020 tomando como escenario que las cinco comunidades que están dentro de la Cuenca de la Laguna de Ayarza contarán con alcantarillado sanitario.

Para calcular la población futura de dichas comunidades, se utilizó como base el censo de Población de Guatemala del 2002, se aplicó el método de crecimiento geométrico empleando la tasa de crecimiento del Municipio de Casillas que es del 2.9% anual y 2.5% anual para el Municipio de San Rafael Las Flores (SEGEPLAN-Municipalidades de Casillas y San Rafael las Flores. 2003).

A estas poblaciones se agregó un 50% por población flotante proveniente del turismo que es una actividad que actualmente no es muy fomentada pero que tiene un gran potencial turístico (Siwan Tukr-FONACON, 2008).

En el siguiente cuadro puede observarse esta población futura, determinándose que las poblaciones aledañas a la Laguna de Ayarza que contarán con drenajes sanitarios serán de 2,442 habitantes para el 2015 y de 2,778 habitantes para el 2020.

Cuadro 7. Población Futura con Servicio de Drenaje Sanitario

No.	Poblados	Tipo de Poblado (según INE)	Población		Población considerando el Turismo	
			2,015	2,020	2,015	2,020
I. Municipio de San Rafael Las Flores						
1	Media Cuesta	Aldea	1,315	1,490	1,972	2,235
Total			1,315	1,490	1,972	2,235
II. Municipio de Casillas						
1	El Pedrerito	Paraje	102	118	153	177
2	El Subinal	Finca	86	99	129	149
3	Los Pinos	Paraje	63	72	94	109
4	Los Ranchos	Caserío	63	72	94	109
Total			313	362	470	544
Total Poblados en la Cuenca Laguna de Ayarza			1,628	1,852	2,442	2,778

Fuente: INE, Guatemala, 2002. Censo de Población y Proyección de Población por elaboración propia.

5.4.3. Estimación de Carga Contaminante

Seguidamente por medio del método Evaluación Rápida de Fuentes Contaminantes (ERFC) se obtuvo las cargas contaminantes que la población vierte a través de sus aguas residuales.

Los parámetros que se evaluarán en esta investigación son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno (N), Fósforo (P), y Sólidos Suspendidos Totales (SST), ya que estos se consideran como los principales agentes que favorecen la producción de algas y el aceleramiento de la eutrofización de un lago o laguna.

En el Cuadro 8 podemos observar los factores utilizados para calcular las Cargas Contaminantes de los efluentes domésticos. Es importante acotar que en el método de ERFC los valores están dados para zonas urbanas, pero pueden aplicarse también a zonas rurales como se hizo en este estudio ya que todas poblaciones que están dentro de la Cuenca de la Laguna de Ayarza son de tipo rural, siempre y cuando estas comunidades cuenten con drenaje sanitario.

Cuadro 8 Cargas de Contaminantes de las Aguas Residuales Domésticas

Contaminantes	Factor de Carga de Efluentes (g/habitante/día)	
	Valores ERFC	Valor Utilizado (Media)
DBO ₅	45-54	50
DQO	1.6 - 1.9 X DBO ₅	1.8 X DBO ₅
Sólidos Totales	170 - 220	200
Nitrógeno Total (N)	6.0 - 12.0	9
Fósforo Total (P)	0.6 - 4.5	2.6

Fuente: Tabla 4.2.2-1 Cargas Contaminantes de las Zonas Urbanas con Sistema de Alcantarillado. Documento Evaluación Rápida de Fuentes Contaminantes, Alexander Economopoulos, OMS, 1993 página 152.

Se obtuvo el volumen de Aguas Residuales utilizando la siguiente fórmula:

$$Vol = \frac{\# \text{ habitantes} \times \text{Dotación litros/habitante/día} \times \text{Factor de Retorno}}{1000} = m^3 / \text{día} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Se utilizó una dotación de 150 litros/habitante/ día ya que se trata de una zona rural y un factor de retorno del 60% ya que solo se utilizará para aseo personal y servicio sanitario.

Igualmente las Cargas Contaminantes de los parámetros de contaminación se calcularon así:

$$Carga\ Contaminante\ por\ Parámetro = \frac{Factor\ g/habitante/día \times habitantes}{1000} = kg/día \quad (Ecuación\ 2)$$

Se calcularon las Concentraciones de los Parámetros calculados utilizando la siguiente ecuación:

$$Concentración\ por\ Parámetro = \frac{Carga\ Contaminante\ por\ Parámetro\ kg/día \div Vol\ agua\ residual\ m^3/día}{1000} = mg/l$$

(Ecuación 3)

5.5. Resultados

5.5.1. Situación Actual

Los resultados obtenidos al aplicar la ERFC de la Aguas residuales de origen Doméstico de la Aldea Media Cuesta y que pueden ser fuente de contaminación para la Laguna de Ayarza se muestran a continuación:

Cuadro 9 Cargas de Contaminantes de las Aguas Residuales Descargadas a la Laguna de Ayarza

Poblado	Población	Aguas Residuales (m ³ /día)	Carga Contaminante				
			DBO (Kg/día)	DQO (Kg/día)	SST (Kg/día)	N (kg/día)	P (kg/día)
Municipio San Rafael Las Flores							
Media Cuesta	25	2.25	1.25	2.25	5.00	0.23	0.07

5.5.2. Escenarios Futuros

En los escenarios futuros del 2015 y 2020 los datos de Carga Contaminante por efluentes domésticos se muestran en los siguientes Cuadros:

Cuadro 10 Cargas de Contaminantes de las Aguas Residuales que se Descargadas a la Laguna de Ayarza en el 2015

Poblados	Población	Aguas Residuales (m ³ /día)	DBO (Kg/día)	DQO (Kg/día)	SST (Kg/día)	N (kg/día)	P (kg/día)
San Rafael Las Flores							
Media Cuesta	1,972	177.50	98.61	177.50	394.45	17.75	5.13
Total	1,972	177.50	98.61	177.50	394.45	17.75	5.13
Municipio de Casillas							
El Pedrerito	153	13.78	7.65	8.46	30.62	1.38	0.40
El Subinal	129	11.61	6.45	11.61	25.80	1.16	0.34
Los Pinos	94	8.46	4.70	8.46	18.81	0.85	0.24
Los Ranchos	94	8.46	4.70	8.46	18.81	0.85	0.24
Total	470	42.32	23.51	37.00	94.03	4.23	1.22
Total Laguna de Ayarza	2,442	219.82	122.12	214.50	488.48	21.98	6.35

Cuadro 11 Cargas de Contaminantes de las Aguas Residuales que se Descargadas a la Laguna de Ayarza en el 2020

Poblados	Población	Aguas Residuales (m ³ /día)	DBO (Kg/día)	DQO (Kg/día)	SST (Kg/día)	N (kg/día)	P (kg/día)
San Rafael Las Flores							
Media Cuesta	2,235	201.14	111.74	201.14	446.97	20.11	5.81
Total	2,235	201.14	111.74	201.14	446.97	20.11	5.81
Municipio de Casillas							
El Pedrerito	177	15.93	8.85	15.93	35.39	1.59	0.46
El Subinal	149	13.42	7.46	13.42	29.83	1.34	0.39
Los Pinos	109	9.78	5.44	9.78	21.74	0.98	0.28
Los Ranchos	109	9.78	5.44	9.78	21.74	0.98	0.28
Total	544	48.92	27.18	48.92	108.71	4.89	1.41
Total Laguna de Ayarza	2,778	250.05	138.92	250.05	555.68	25.01	7.22

5.5.3 Comparación Escenarios Actual y Futuros

Una vez estimada las cargas contaminantes para los escenarios actual y futuro, se compraron en el cuadro y las figuras que se muestran a continuación:

Cuadro 12. Comparación de Cargas de Contaminantes Escenarios Actual y Futuros

Año	Población	Aguas Residuales (m ³ /día)	DBO (Kg/día)	DQO (Kg/día)	SST (Kg/día)	N (kg/día)	P (kg/día)
2010	25	2.25	1.25	2.25	5.00	0.23	0.07
2015	2,442	219.82	122.12	214.50	488.48	21.98	6.35
2020	2,778	250.05	138.92	250.05	555.68	25.01	7.22

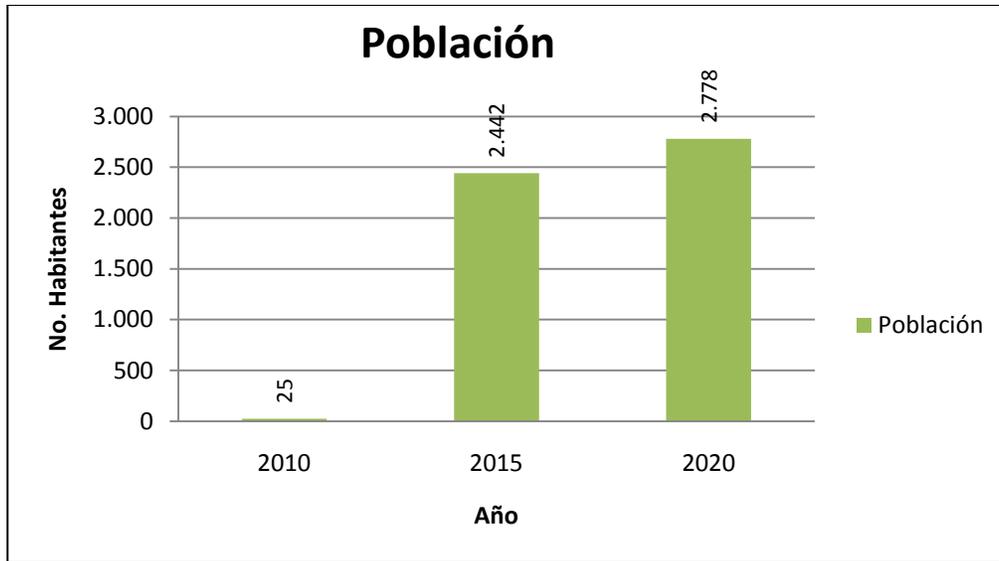


Figura 8. Gráfica de Población a través del tiempo

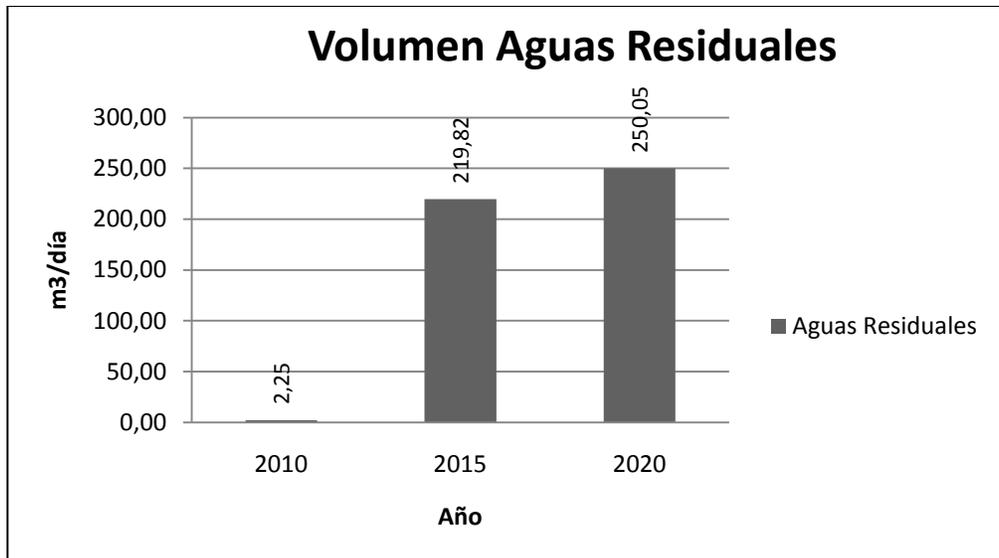


Figura 9. Gráfica de Volumen de Aguas Residuales a través del tiempo

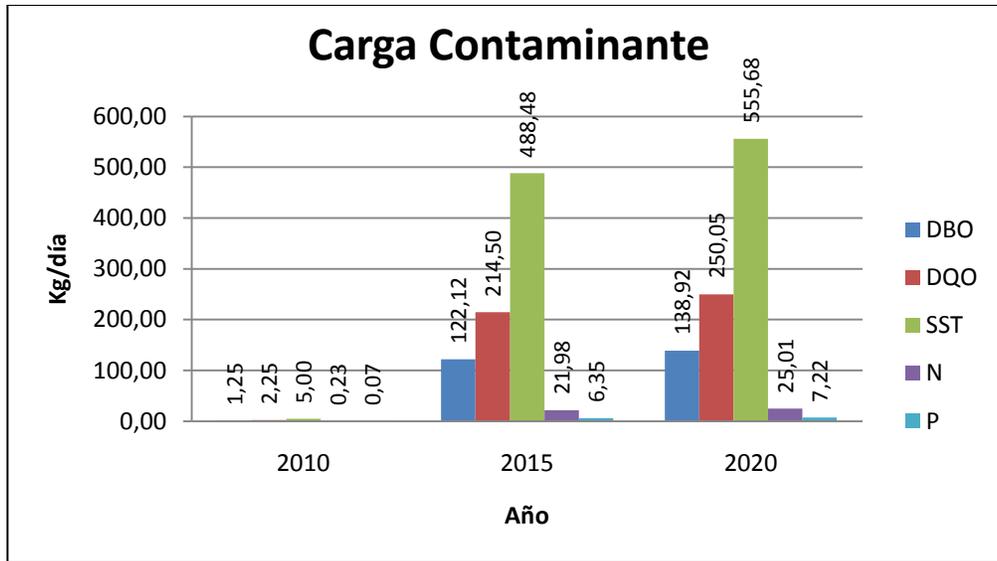


Figura 10. Gráfica de Carga Contaminante en el tiempo

5.5.3. Concentraciones

Se realizó la estimación de las Concentraciones por cada parámetro de Contaminación, obteniéndose estos valores para todos los escenarios, el actual y los futuros como se ve en el Cuadro 13 que se muestra a continuación. Es importante aclarar que los valores que si cambian con el tiempo son las cargas contaminantes como se ve en el Cuadro 12.

Cuadro 13. Concentración de los Contaminantes de las Aguas Residuales que se Descargan en la Laguna de Ayarza

DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)
560.00	1,000.00	2,220.00	100.00	30.00

Después de obtener los valores de concentración se comparó los mismos con la normativa nacional existente relacionada con la descarga de aguas residuales (Ver Cuadro 15 y Figura 11), considerando también en el análisis la opción de instalar una

Planta de Tratamiento Secundario que reduce las concentraciones de contaminantes como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 14. Reducción de Contaminantes de una Planta de Tratamiento Secundario de Aguas Residuales

Parámetro	Remoción (%)
DBO	90
DQO	90
SST	90
NT	40
PT	40

Fuente: Helmer, Richard. Hespanhol, Ivanildo, 1999. Control de la Contaminación del Agua

Cuadro 15 Comparación de la Concentración de los Contaminantes con la Normas Nacionales

Parámetros	ACUERDO GUBERNATIVO No. 51-2010			ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006		Posibles Descargas a la Laguna de Ayarza	Posibles Descargas con Planta de Tratamiento Secundario
	Dimensionales	Lagos	Sistemas de Alcantarillado Público	Cuerpos Receptores	Sistemas de Alcantarillado Público		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	30	100	100	200	560	56
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	60	200	-	-	1000	100
Sólidos Suspendidos (SST)	mg/L	40	125	100	200	2220	222
Nitrógeno Total (N)	mg/L	1	10	20	40	100	60
Fósforo Total (P)	mg/L	1	2	10	10	30	18

Fuente: Acuerdo Gubernativo No. 51-2010: Reglamento de Vertidos para Cuerpos Receptores de La Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: Reglamento De Las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodo. Helmer, Richard. Hespanhol, Ivanildo, 1999. Control de la Contaminación del Agua

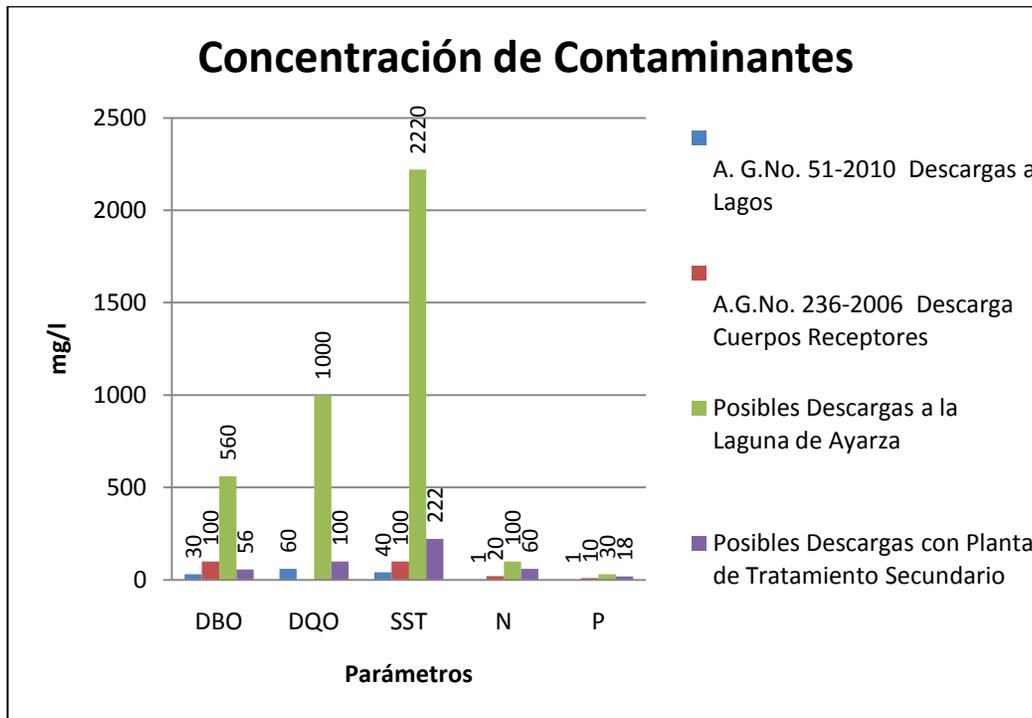


Figura 11. Gráfica comparativa de Concentración de Contaminantes

5.6. Análisis de Resultados

Al utilizarse el método de ERFC se estimó que los valores de volumen de aguas residuales de tipo doméstico y los parámetros de carga contaminante en la actualidad son valores bajos ya que solo se considera la aldea Media Cuesta por ser la que cuenta con alcantarillado sanitario, la población es bastante pequeña por lo que la calidad del Lago aún es buena.

Aunque el problema no es por ahora de grandes dimensiones, según las estimaciones realizadas con la ERFC para escenarios futuros se consideran todas las comunidades cercanas a la Laguna de Ayarza, así como la población flotante por el turismo y por consiguiente aumentan el volumen como la carga contaminante de los dichos efluentes. (Ver Cuadro 12 y Figuras 8,9 y 10)

Un aspecto muy importante a destacar es la Concentración de los contaminantes que tanto en la actualidad como los escenarios futuros se mantienen y son valores muy altos comparados con la normativa nacional relacionada con descargas de aguas residuales, por consiguiente una medida preventiva de contaminación de la Laguna es proveer a los pobladores de las zonas aledañas de sistemas de alcantarillado sanitario que incluya una planta de tratamiento para la reducción de estas concentraciones, logrando que estas se acerquen a los parámetros establecidos por la normativa nacional vigente relacionada a las descargas de aguas residuales (Ver cuadro 15y Figura 11) y así evitar el deterioro de la Laguna y los problemas que tienen otros lagos y lagunas del país.

6. MODELO DE EROSIÓN RUSLE

A lo largo de los años se han definido diferentes métodos físicos y empíricos para modelar el proceso de erosión; estos integran, de distintas maneras, las principales variables que intervienen en el proceso erosivo.

En el último siglo se han hecho esfuerzos para formular ecuaciones que modelen el comportamiento de la erosión para diferentes regiones. En Estados Unidos de América, en 1910, el Departamento de Agricultura (USDA) inicia una investigación sobre el proceso de erosión. Después de una serie de intentos por definir una cuenca que reuniera la mayor cantidad de variables determinantes del proceso, en 1965 se establece la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés). En 1997 se presenta la segunda versión del modelo, con una serie de modificaciones enfocadas hacia un uso más generalizado. En otros países se han realizado estudios similares, tal es el caso de Yugoslavia donde en 1988 se presenta la ecuación de Gavrilovic-Zeralic para cuencas onduladas. En Latinoamérica el modelo USLE se ha utilizado ampliamente.

El modelo de predicción de erosión hídrica Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, Revisada (RUSLE, por sus siglas en inglés), está diseñado para predecir la pérdida anual de suelo causada por la precipitación y el escurrimiento sobre una sección compuesta por terrazas y taludes, con una cobertura vegetal de suelo y un sistema de manejo dado. Este modelo se basa en el supuesto de que las mayores fuerzas hídricas que intervienen en el proceso son el impacto de las gotas y el flujo a través de la superficie del suelo; además, que la erosión se manifiesta de manera laminar en surcos o pequeñas cárcavas. El modelo está definido a partir de una sección transversal, por lo tanto no puede ser aplicado directamente a cuencas o formaciones tridimensionales complejas.

Es un modelo empírico simple basado en el análisis de regresión de las razones de pérdida de suelo a partir de gráficas de erosión en Estados Unidos. Sirve para estimar las tasas de erosión anual a largo plazo y ha sido aplicada en zonas de diferentes escalas.

El modelo se representa como una ecuación de seis factores donde dos de los factores (R, K) aportan el orden de magnitud y las unidades respectivas, mientras que los cuatro restantes (L, S, C, P) son factores adimensionales que permiten adaptar las estimaciones a condiciones distintas de la parcela de prueba en que fue desarrollado el método.

La siguiente ecuación muestra las variables del modelo:

$$A=R*K*L*S*C*P$$

Donde:

A:= pérdida anual de suelo dada en unidades de masa por área.

R:= Factor de precipitación y escurrimiento. Se conoce como erosividad.

K:= Factor de características del suelo. Se conoce como erodabilidad.

L:= Factor topográfico, longitud del talud. Pondera la variación de la erosión respecto al efecto de la extensión de la pendiente.

S:= Factor topográfico, nivel de pendiente. Estima la variación de la erosión respecto a la encontrada en el lote de control.

C:= Factor de cobertura. Simula el efecto de los diferentes usos del suelo con respecto a un suelo desnudo en continua labranza.

P:= Factor de prácticas de control de erosión.

Cada uno de estos factores cuenta con múltiples métodos de cálculo de acuerdo al tipo de información base que se tenga y las características de la zona de estudio.

En el Cuadro 16 se muestran las unidades del modelo en el sistema inglés y su correspondencia en el sistema de unidades métricas.

Cuadro 16. Dimensiones y Unidades de los factores del Modelo RUSLE

Tabla 1.- Dimensión y unidades de los factores del modelo RUSLE				
Símbolo	Dimensión	Unidades Inglésas	Factor de conversión (1 UI = #UM)	Unidades Métricas
A	$\frac{M}{L^2 * T}$	$\frac{Ton}{acre * año}$	2,242	$\frac{ton}{Ha * año}$
R	$\frac{L * F * L}{L^2 * T * T}$	$100 \frac{ft * Tonf * plg}{acre * hrs * año}$	17,02	$\frac{MJ * mm}{ha * hrs * año}$
K	$\frac{M * L^2 * T}{L^2 * L * F * L}$	$\frac{Ton * acre * hrs}{100 * acre * ft * Tonf * plg}$	0,1317	$\frac{ton * Ha * hrs}{Ha * MJ * mm}$

Donde:

Dimensión	M:=Masa L:= longitud T:= tiempo F:= fuerza
Unidades Inglésas	Ton: tonelada masa acre: ft: pie Tonf: tonelada fuerza plg: pulgada hrs: hora
Unidades Métricas	ton: tonelada métrica (1000 kilogramos) Ha: hectárea (10000 metros cuadrados) MJ: megajulios hrs: hora mm: milímetros (0,001 metros)

Fuente: Renard, et al., 1997

6.1. Aplicación del Modelo de Erosión RUSLE

La investigación comprende la medición de sedimentos que pueden llegar a la Laguna de Ayarza utilizando la metodología RUSLE, para lo cual será necesario el uso de fotografía aérea y mapas cartográficos de la cuenca de la Laguna el uso del ArcGIS como herramienta para el cálculo de los diferentes variables del Modelo RUSLE,

obteniendo mapas de cada una de ellas y permitiendo hacer una superposición de las diferentes mapas para obtener un Mapa de Erosión de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.

6.1.1. Índice de Erosividad de la Lluvia (R)

- Representa los factores de lluvia y escurrimiento; corresponde a un número de unidades del índice de erosión por lluvia, por año o en un período considerado.
- Llamado más apropiadamente **índice de erosividad (EI)**

- **Ecuación:**

$$E=1.213+0.89*\text{LOG } I_{30}$$

Donde:

E: Energía cinética (Mj ha⁻¹ mm⁻¹)

I: intensidad (mm h⁻¹).

I₃₀: intensidad máxima en 30 minutos.

- $R = \sum E * I$
- $R = (\text{MJ} * \text{mm}) / (\text{ha} * \text{hrs} * \text{año})$ ó $\text{MJ} * \text{mm} * \text{ha}^{-1} * \text{hrs}^{-1} * \text{año}^{-1}$
- R representa un factor de lluvia y escurrimiento superficial expresado en unidades del índice de erosión (IE), más un factor para escurrimiento por aplicación de agua.

- Existe una correlación aceptable entre, el producto de la energía total de la lluvia (E) y la cantidad de agua caída (mm) durante 30 minutos seguidos de máxima intensidad (I), con la erosión del suelo.
- Para calcular R se consideraron los Hietogramas de las cinco Estaciones Meteorológicas que se encuentran situadas más cerca de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.
- En la Cuadro 17 se observa los datos de I_{30} que es la intensidad de lluvia más alta que se presentó en 30 minutos; $\sum E$ que es la sumatoria de las Energías Cinéticas de las Intensidades de Lluvia que se dieron en la tormenta donde se encontraba la intensidad más fuerte, discretizada en 30 minutos y R que es la multiplicación de ambos factores. Esto se calculó para cada una de las estaciones. En la Figura 12 podemos ver su ubicación.

Cuadro 17. Factor R por Estaciones Meteorológicas

Estación	I_{30} (mm/hrs)	$\sum E$	R ($\sum E * I_{30}$)
Los Esclavos	73.6	7.0	512.65
Ceibita	86.4	4.9	427.12
Potrero Carrillo	85.6	4.9	419.27
INSIVUMEH	73.8	5.2	381.88
Morazán	106.8	6.2	664.75

Fuente: INSIVUEH y elaboración propia.

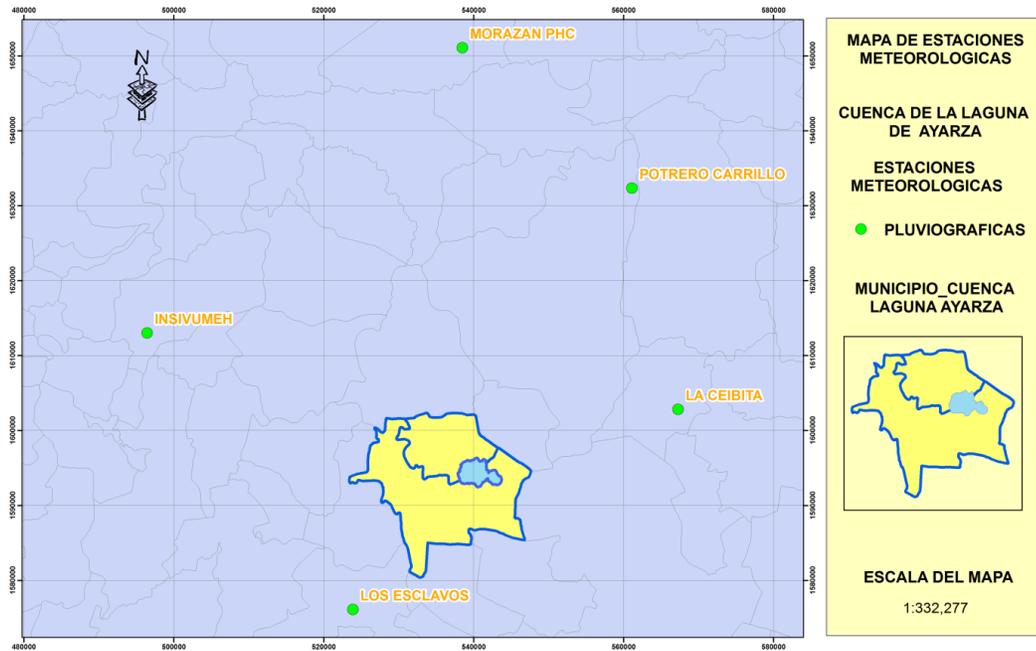


Figura 12 Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas cercanas a la Cuenca de la Laguna de Ayarza

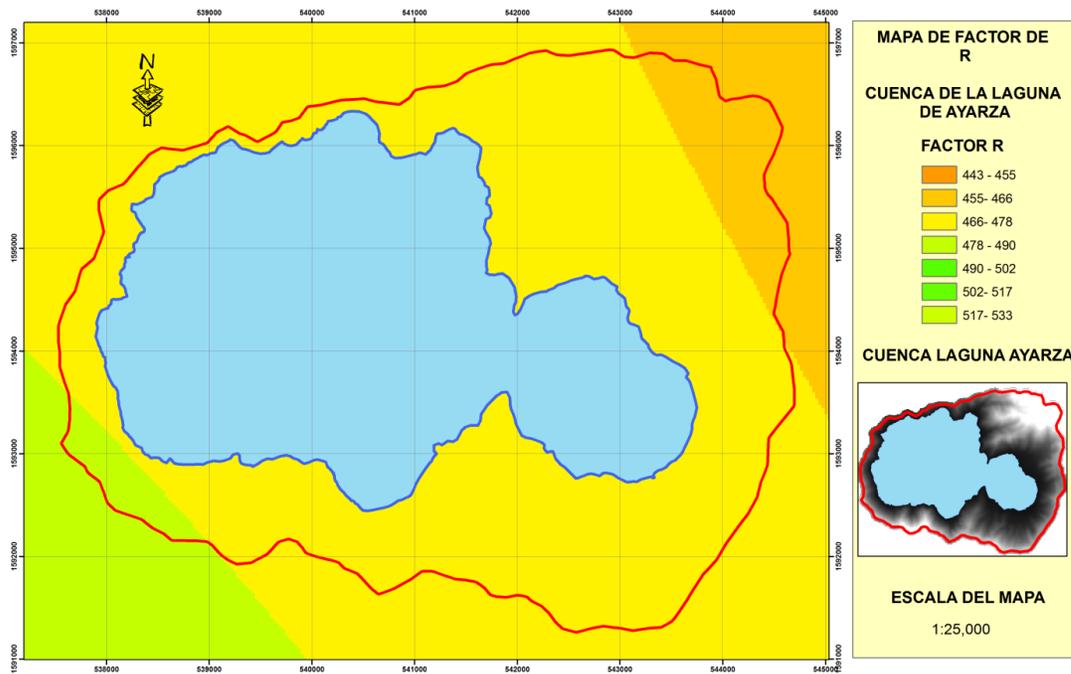


Figura 13 Mapa del Factor R de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

6.1.2. Factor Erodabilidad del Suelo (K)

- Representa la susceptibilidad del suelo y reconoce que sus propiedades físicas están estrechamente relacionadas a las tasas de erosión.
- Cuantifica el carácter cohesivo de un tipo de suelo y su resistencia a desprenderse y ser transportado debido al impacto de las gotas y al flujo superficial de agua.
- Entonces el factor K es la tasa de erosión por unidad de índice de erosión, para un suelo específico y para condiciones estándar
- $K = (\text{Ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{hrs}) / (\text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$ ó $\text{Ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{hrs} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$
 - Para encontrar el Factor K se utilizó como instrumento el nomograma que se encuentra a continuación (Ver Figura 14). En la gráfica de la izquierda se utilizan datos texturales y de materia orgánica para obtener un valor aproximado de K, el cual se afina pasando al gráfico de la derecha en el que se manejan valores de estructura y de permeabilidad.
 - Se utilizaron los valores de los suelos Ayarza y Jalapa, que se encuentran en la Cuenca de la Laguna de Ayarza, que están en el documento Clasificación de Reconocimiento de Suelos de la República de Guatemala según Simmons, Trajano y Pinto del Año 1959.

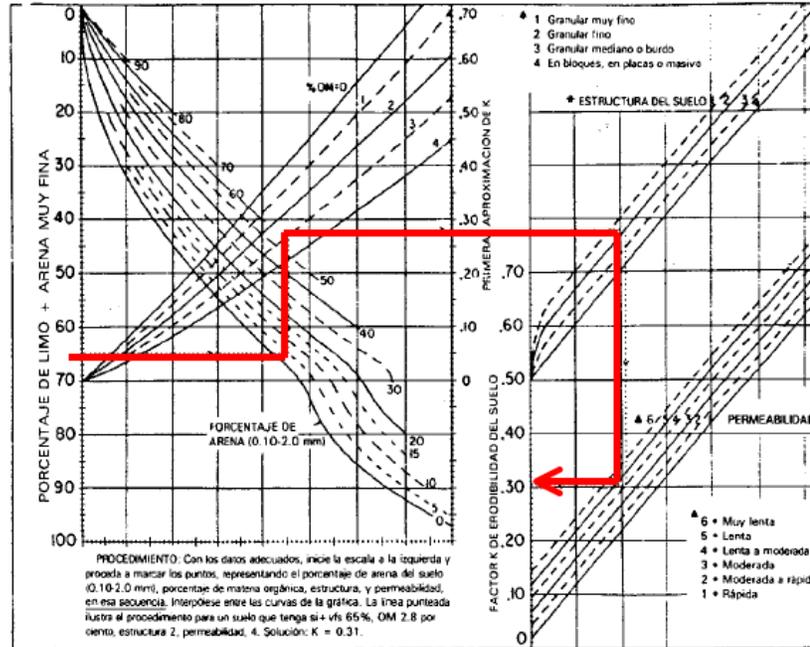


Figura 14 Nomograma para el cálculo del Factor K

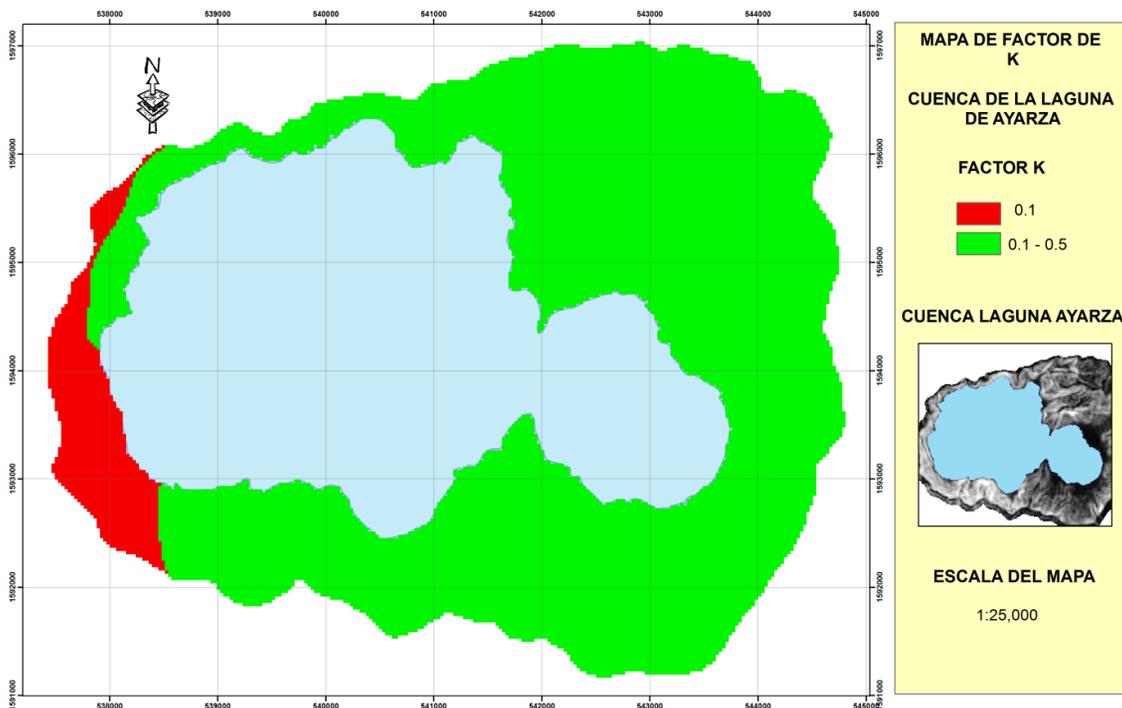


Figura 15 Mapa Factor K de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

6.1.3. Factor Longitud/Inclinación (LS).

- Los factores L y S se obtienen a partir de ecuaciones que fueron generadas según la relación entre las pérdidas de suelo de las parcelas estándar y parcelas bajo condiciones distintas de longitud y gradiente de la pendiente.
- Es un factor adimensional.

a) Factor L (Longitud de Pendiente)

- Factor longitud de pendiente; en general, en pendientes largas la erosión es mayor y viceversa.
- Razón entre la pérdida de suelo de un tipo de suelo, gradiente de pendiente y longitud de pendiente específica y otro de 22,13 m de longitud.
- L extensas acumulan escurrimiento superficial desde grandes áreas y también resultan en mayores velocidades de flujo.

$$L = (\lambda / 22,13)^n$$

Donde:

- λ es la longitud de la ladera (metros)
- n un factor dependiente del gradiente, calculable con la ecuación siguiente:

$$n = 0,6 [1 - e^{-35,835 S}]$$

b) Gradiente de la Pendiente (S)

- Factor de gradiente de la pendiente; en general, a mayor gradiente de pendiente, mayor es la erosión y viceversa.
- Producen mayores velocidades de flujo superficial.
- Es la razón entre la pérdida de suelo en un tipo de suelo, gradiente de pendiente y longitud de pendiente determinado

- **$S = 0,065 + 0,045s + 0,0065s$**

- El efecto del gradiente de la pendiente es sobrestimado por la USLE en laderas pronunciadas (Hart, 1984), por lo que es recomendable aplicar la ecuación propuesta por McCool *et al.* (1987) para pendientes mayores a 9%:

- **$S = 16,8 \operatorname{sen} \alpha - 0,5$**

- Donde α es el ángulo de la pendiente.

- Los mismos autores proponen una fórmula alternativa para pendientes menores de 9%:

$S = 10,8 \operatorname{sen} \alpha + 0,03$

s = gradiente (%)

- El factor LS se calculo con la ayuda del siguiente gráfico que contiene las longitudes y pendientes y dan como resultado el factor Topográfico.

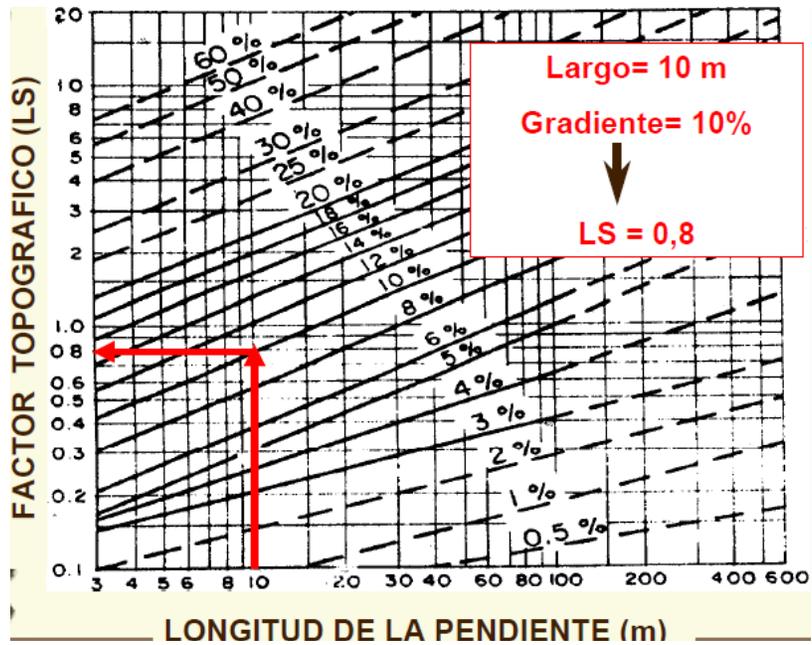


Figura 16 Nomograma para el cálculo del Factor LS

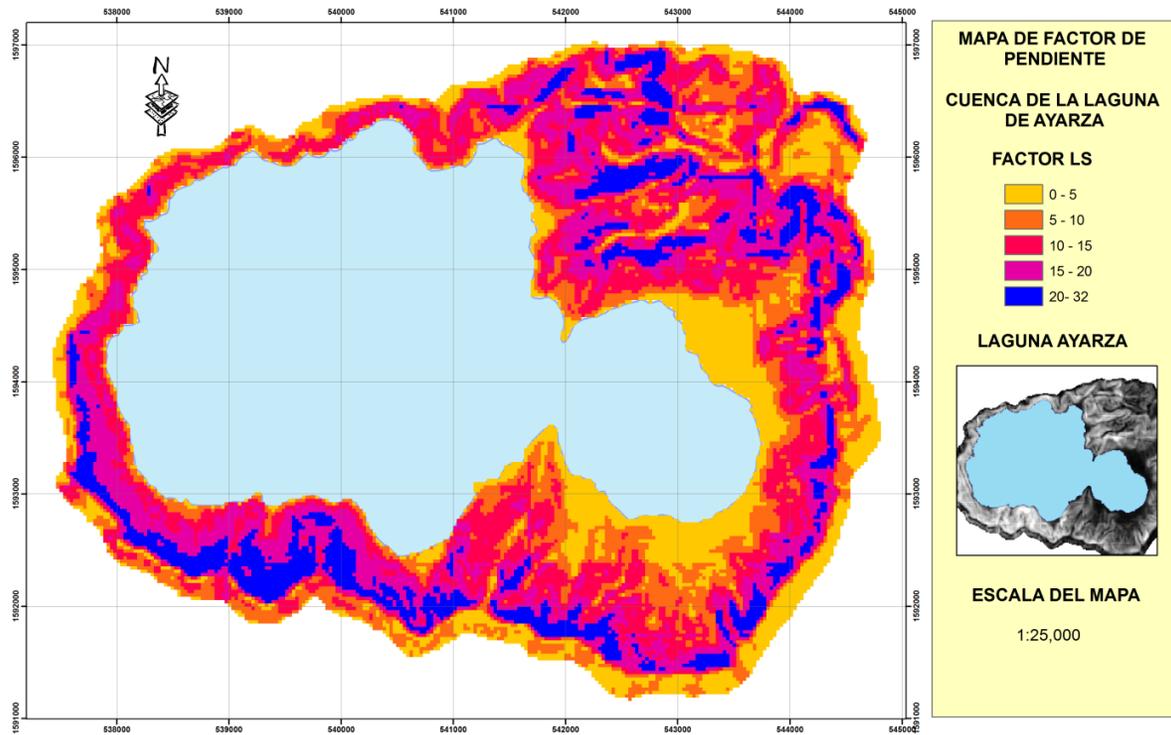


Figura 17 Mapa de Factor LS de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

6.1.4. Factores Manejo de Cultivo y Prácticas de Conservación (C y P)

- Se obtienen a través de tablas y gráficos, que han sido elaborados por diversos autores (Wischmeier y Smith, 1978; Dissmeyer y Foster, 1980).
- Los valores originales fueron obtenidos al relacionar las pérdidas de suelo en parcelas típicas de erosión con suelo desnudo y sin prácticas de conservación, con los valores obtenidos con parcelas bajo diversos tratamientos de cobertura y sistemas conservacionistas.
- Es un factor adimensional.

a) Factor C Factor de Manejo del Cultivo

- Representa los factores de cubierta del suelo y manejo del cultivo, relacionados a la pérdida de suelo.
- Este factor es la razón entre las pérdidas de suelo de un terreno cultivado bajo condiciones especificadas.

Para determinar el Factor C se realizó un mapa de uso de suelo, ya que cada tipo de cubierta de suelo tiene asociada determinado valor del factor, obteniéndose el Cuadro 18 que se muestra a continuación:

Cuadro 18 Factor C por Grupo de uso del Suelo

GRUPO	SUBGRUPO	FACTOR C
Bosque Natural	Coníferas	0.001
Cultivos	Cultivos perennes	0.05
Sabana	Cultivos y bosque	0.01
Cultivos	Anuales	0.999

b) Factor P Factor de Prácticas de Conservación

- Representa las prácticas de conservación usadas en el proceso de manejo para “*mantener el suelo en casa.*”
- Las prácticas incluidas en este término son:
 - Curvas de nivel
 - Cultivos en faja (cultivos alternados sobre contornos)
 - Terrazas.
- Es la razón entre las pérdidas de suelo con dichas prácticas y aquellas que ocurren cuando se cultiva en el sentido de la pendiente.

Es importante recalcar que en la cuenca no se dan prácticas adecuadas de conservación de suelo por lo que el valor del Factor P es igual a uno y el Factor C y P se reducirá al Factor C.

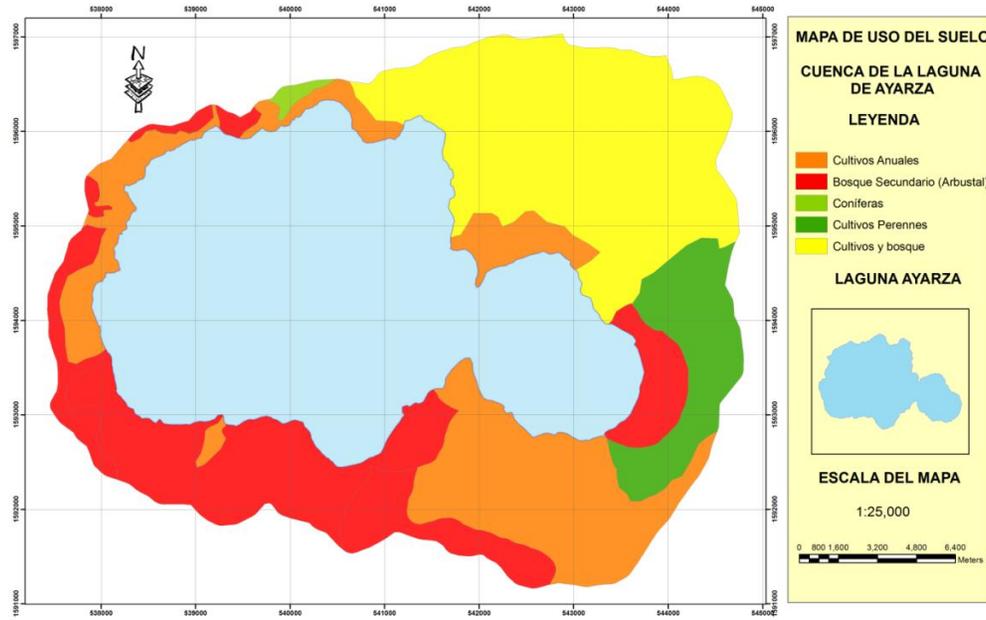


Figura 18 Mapa de Uso del Suelo de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

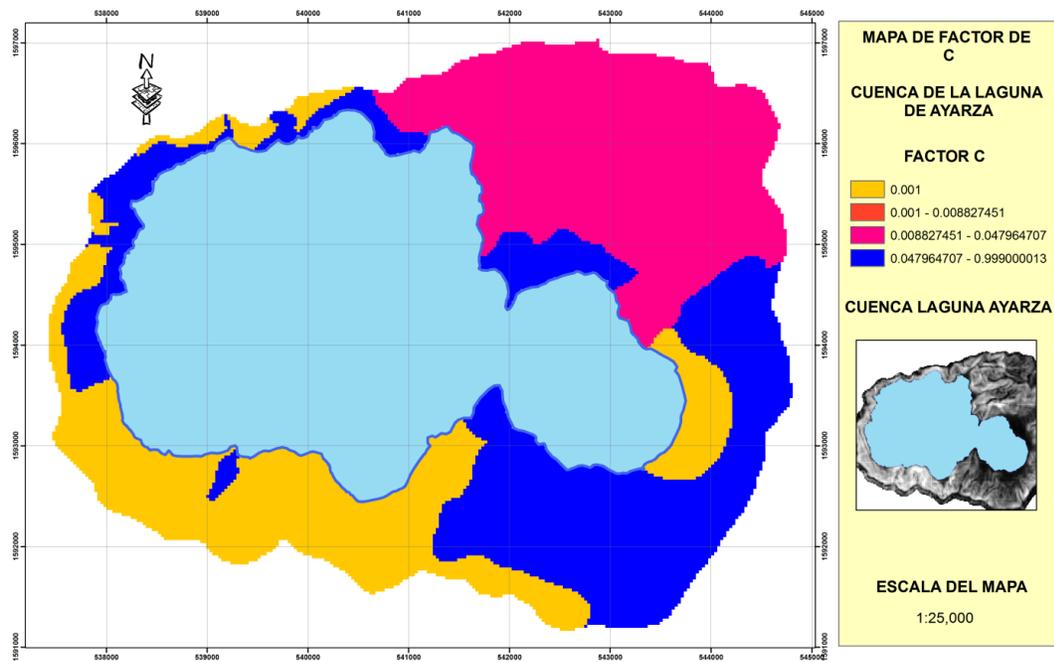


Figura 19 Mapa del Factor C de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

Según el Método RUSLE, 1997, el Nivel de Tolerancia del Suelo a la Erosión es de 18 ton/ha/año, por lo que este es nuestro valor guía para determinar el grado de erosión de la Cuenca de la Laguna de Ayarza.

6.2. Resultados

Al sobreponer los mapas generados con cada uno de los Factores: se obtuvo un Mapa de Erosión (Ver Figura 20) aplicando la Ecuación $A=R*K*L*S*C*P$ donde A representa la pérdida de suelo, tasa de erosión o la fuente total de sedimentos que están llegando a la Laguna al año.

- **A = Ton /ha/año**

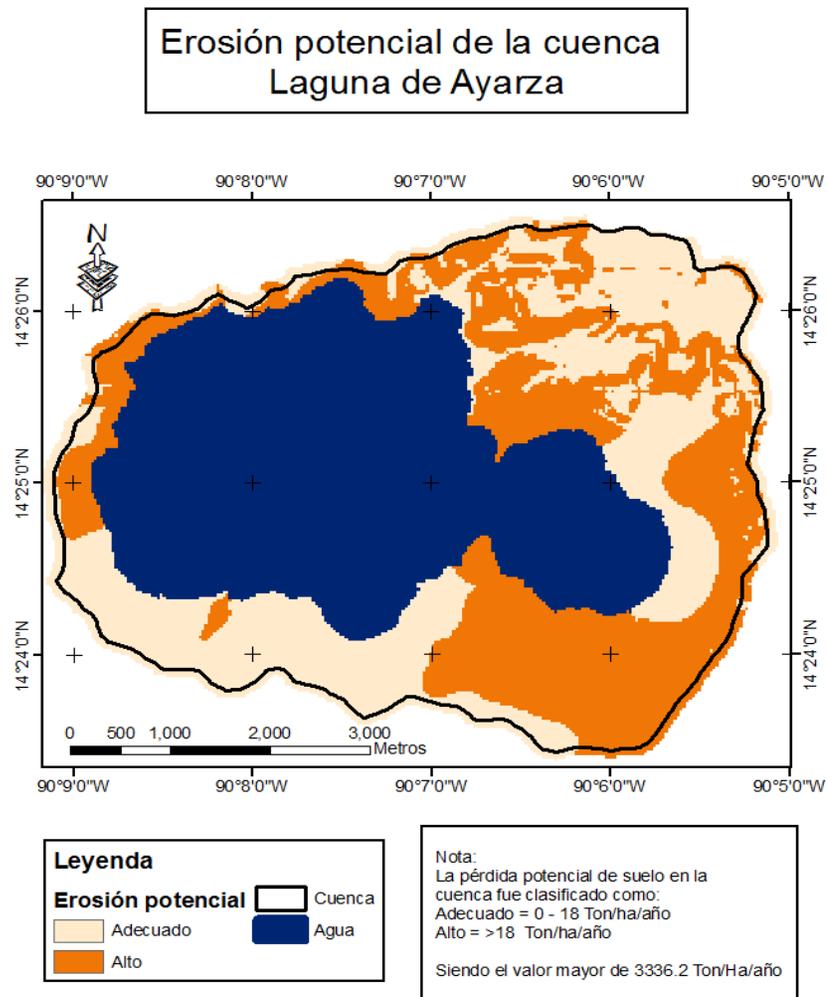


Figura 20 Mapa de Erosión del Suelo de la Cuenca de la Laguna de Ayarza

Al contar con el Mapa de Erosión Potencial de la Cuenca de la Laguna de Ayarza se obtuvieron valores promedio de Sedimento que puede llegar a la Laguna tomando en cuenta los rangos usados en el mapa de acuerdo al nivel de tolerancia del suelo a la erosión y los resultados son los siguientes:

Cuadro 19 Sedimentos que pueden llegar anualmente a la Laguna de Ayarza

Límite Inferior (ton/ha/año)	Límite Superior (ton/ha/año)	Media (ton/ha/año)	Área (ha)	Sedimentos (ton/año)
0	18	9	985.65	8,870.85
18	3,336.20	1,677.10	932.7	1,564,231.17
Promedio				786,551.01

6.3. Análisis de Resultados

De acuerdo a la clasificación de suelos y su elevadas pendientes, la Cuenca de la Laguna de Ayarza es de vocación Forestal, pero actualmente los alrededores de la Cuenca se encuentran altamente deforestados y la mayoría de sus tierras están siendo utilizadas para el establecimiento de cultivos anuales como el maíz y el resto está desprovisto de bosque por lo que se dice que posee un uso inadecuado de la tierra. Otro factor agravante es que está avanzando la frontera agrícola para el establecimiento de cultivos perennes como el café con sombra y pastizales para ganadería.

Esta desprotección está causando erosión hídrica y eólica altas en la mayor parte de la Cuenca de la Laguna de Ayarza, superando el nivel de tolerancia del suelo a la erosión y llegando a tener valores excesivamente altos que exceden las 3,000 Ton/ha/año. (Ver Figura 20) y valores de sedimentos muy altos que alcanzan un promedio de 786,551.01 Ton/año que al depositarse en Laguna puede ocasionar grandes daños como el aumento de la turbiedad y disminución del oxígeno disuelto.

Dentro del Modelo RUSLE el Factor C y P que corresponde al Manejo de Cultivo y Prácticas de Conservación del Suelo es el que influye de forma determinante en la cantidad de erosión que se da en la cuenca y el sedimento producido y es en el que

puede intervenir el ser humano realizando acciones como el uso adecuado del suelo, manejo forestal y agroforestal sostenibles pueden ser una alternativa productiva que beneficie a los habitantes de las poblaciones cercanas a la laguna de Ayarza, algunas medidas adecuadas podrían ser el aprovechamiento sostenible del bosque como el establecimiento de plantaciones para reforestar las áreas dañadas por incendios o deforestación.

7. PROPUESTA DE ACCIONES

Es urgente que se tomen acciones para minimizar la erosión en la cuenca que es muy alta y sobrepasa los valores de tolerancia del suelo a la erosión. Se propone para atenuar esta problemática, que se realicen acciones como el uso de técnicas adecuadas de conservación de suelo, el uso de abonos orgánicos, el manejo agroforestal y la protección del bosque incluyendo campañas de reforestación. Estos esfuerzos requerirán de apoyo técnico y financiero para los pobladores de la Cuenca de la laguna de Ayarza.

En cuanto al aspecto de saneamiento, en caso de proveerse de alcantarillado sanitario a las poblaciones cercanas a la Laguna de Ayarza y se propone, como medida de mitigación de la contaminación, la utilización de plantas de tratamiento de tipo secundario para disminuir las altas concentraciones y cargas contaminantes de las aguas residuales de origen doméstico y evitar que estas aguas tratadas ingresen a la Laguna como una medida para prevenir el deterioro y eutrofización de la misma.

Una acción determinante para la protección de la Laguna de Ayarza es que esta sea declarada Área Protegida pues de esta manera podría contar con Planes de Manejo que regule todas las actividades en el área y con una autoridad que vele por su protección y a la vez procure el desarrollo sostenible de las comunidades que están dentro de la Cuenca de la Laguna.

8. CONCLUSIONES

En presente estudio se cumplió el objetivo propuesto de estimar las cargas contaminantes y el volumen anual de sedimentos que son aportados a la Laguna de Ayarza y se constató la hipótesis alternativa que determina que estos elementos encontrados ocasionarán el deterioro de la Laguna.

El área de la Cuenca de la Laguna de Ayarza más afectada es la suroeste donde coinciden valores altos de erosión y donde se ubican varias poblaciones cercanas a la Laguna.

Las cargas contaminantes de los efluentes de aguas residuales de las comunidades cercanas a la Laguna de Ayarza en la actualidad tienen valores bajos como ser 1.25 Kg/día de DBO, 2.25 Kg/día de DQO, 5.00 Kg/día de SST, 0.23 Kg/día de N y 0.07 Kg/día de P, debido a que la población conectada al drenaje sanitario es únicamente de 25 personas que producen un volumen de agua residual de 2.25 m³/día. Al estimar los escenarios futuros todos los valores aumentan considerablemente ya que se considera que todas las poblaciones cercanas cuentan con alcantarillado y además se toma en cuenta la población flotante por el turismo, por lo que para el 2015 la población proyectada es de 2,442 personas que producirán un volumen estimado de agua residual de 219.82 m³/día y los parámetros podrán alcanzar valores de 122.12 Kg/día de DBO, 214.50 Kg/día de DQO, 488.48 Kg/día de SST, 21.98 Kg/día de N y 6.35 Kg/día de P. Para el escenario más lejano que es el año 2020 la población podría alcanzar las 2,778 personas que podrían producir 250.05 m³/día de agua residual y los parámetros podrían tener valores de 138.92 Kg/día de DBO, 250.05 Kg/día de DQO, 555.68 Kg/día de SST, 25.01 Kg/día de N y 7.22 Kg/día de P.

Las concentraciones de contaminantes se mantienen en el escenario actual y futuro obteniendo valores de 560 mg/l de DBO, 1,000 mg/l de DQO, 2,220 mg/l de SST, 100 mg/l de N y 30 mg/l de P. Las normas nacionales de descarga de aguas residuales a

cuerpos receptores estipulan valores de 30-100 mg/l de DQBO, 60 mg/l de DQO, 40-100 mg/l de SST, 1-20 mg/l de N y 1-10 mg/l de P.

Como los valores superan la norma se propone colocar una planta de tratamiento tipo secundario pero esta también obtuvo en su mayoría valores que superan la norma como ser 56 mg/l de DBO, 100 mg/l de DQO, 222 mg/l de SST, 60 mg/l de n y 18 mg/l de P, por lo que debe evitarse que las aguas tratadas se descarguen a la Laguna.

El 51% del área de la Cuenca de la Laguna de Ayarza está dentro del nivel máximo de tolerancia a la erosión que según el Método RUSLE, 1997 es de 18 ton/ha/año produciéndose un total de 8,870.85 ton/año de sedimento, mientras que el 49% de la cuenca superó ese el nivel de tolerancia produciendo valores altos de 1,564,231.17. El valor de sedimento promedio producido en la cuenca es de 786,551.01 ton/año que puede ocasionar el deterioro tanto en la estética y las características físicas del lago al aumentar la turbiedad disminuyendo por consiguiente el oxígeno disuelto lo que puede afectar la vida de la fauna acuática de la Laguna.

9. RECOMENDACIONES

El presente trabajo se basa en estimaciones de carga contaminante y volumen de sedimento anual que puede llegar a la Laguna de Ayarza, por lo que se recomienda para otros estudios la investigación en campo.

En cuanto a la estimación de carga contaminante, los valores de concentración están relacionados con la dotación y el factor de retorno de las aguas residuales por lo que se sugiere en próximos estudios abordar en estos aspectos, aplicados específicamente a las poblaciones cercanas a la Laguna de Ayarza.

Esta estimación de concentraciones es un primer paso pero no sabemos su impacto real en el cuerpo de agua, en este caso en la Laguna ya que para esto se necesita realizar un monitoreo de las quebradas de invierno que hay en la cuenca de la Laguna

y que pueden conducir los efluentes de aguas residuales hacia la misma, para medir los caudales y junto con los datos de concentraciones obtenidos en este estudio, modelar la pluma de contaminación que se puede llegar a la Laguna., por lo que se sugiere ahondar con otras investigaciones en esta temática.

En lo relacionado con la estimación del volumen de sedimento se recomienda ahondar el análisis considerando escenarios en que la Cuenca de la Laguna de Ayarza cuenta con cobertura boscosa o se aplican métodos de conservación de suelos para ver si disminuyen los valores de erosión y volúmenes de sedimento que pueden llegar a la Laguna.

10. BIBLIOGRAFÍA

- OMS.1982. Rapid Assessment of Air, Water and Land Pollution Sources, World Health Organization. Ginebra, Suiza. Offset Publication No. 62.
- Alexander Economopoulos, OMS. 1993. "Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution. A Guide to Rapid Source Inventory Techniques and Their Use in Formulating Environmental Control Strategies. Part One: Rapid Inventory Techniques in Environmental Pollution". Ginebra, Suiza.
- Saravia, Pedro. 2007, Guatemala. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Contaminación del Agua.
- Leal, Roger. 2009. "Consideraciones y Conclusiones al Aplicar el Modelo de Erosión RUSLE en algunas Cuencas de la Fila Costeña, Costa Rica". Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (UCR).
- Casanova, Manuel. Conservación de Suelos: Predicción de la Erosión Hídrica vía Modelo USLE

- Centro Integral Siwan Tukr – FONACON. 2008. Plan de Manejo Sostenible de los Recursos Naturales del Área de Protección Especial Laguna de Ayarza.
- SEGEPLAN - Municipalidad de Casillas. 2003. Estrategia de Reducción de la Pobreza, Municipal de Casillas
- SEGEPLAN - Municipalidad de San Rafael Las Flores. 2003. Estrategia de Reducción de la Pobreza, Municipal de San Rafael Las Flores.
- Simmons, C., Tarano, J., y Pinto, J., 1959. Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Editorial José de Pineda Ibarra. 1000 p.
- INE, Guatemala, 2003. Censo Nacional de Población y Habitación.
- Mapas elaborados por el Laboratorio de Información Geográfica UPGGR del MAGA, Guatemala.
- INSIVUMEH, Hietogramas de Lluvia de las Estaciones: Los Esclavos, Ceibita, Potrero Carrillo, INSIVUMEH y Morazán.
- Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: Reglamento De Las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Guatemala 5 de Mayo de 2006
- Acuerdo Gubernativo No. 51-2010: Reglamento de Vertidos para Cuerpos Receptores de La Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno, Guatemala, 3 de Febrero del 2010.
- Helmer, Richard. Hespanhol, Ivanildo, CEPIS/OPS, 1999. Control de la Contaminación del Agua. Guía para la Aplicación de Principios Relacionados con la Calidad del Agua.

Este documento ha sido realizado e impreso gracias al apoyo de la Unión Europea a través del Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental -PREVDA- ALA/2005/017-550