

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras



Estimación de la erosión hídrica utilizando la Ecuación de Pérdida de Suelo- USLE - aplicando herramientas de -SIG-, vinculando a sus efectos en la zona de influencia marino-costera en la cuenca río Paso Hondo, en el departamento de Santa Rosa

Iván Antonio Salazar Sosa

Guatemala, noviembre de 2019

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

Consejo Directivo

Presidente	Dra. Juana Lorena Boix Morán
Secretario	Dr. Pedro Julio García Chacón
Representantes Docentes	M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón Dr. Pedro Julio García Chacón
Representante del Colegio de Médicos Veterinarios, Zootecnistas y Acuicultores	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Representantes Estudiantiles	Br. Karol Rubí Rivas Díaz Br. Alejandra Raquel Contreras Perdomo

Consejo Académico del Departamento de Estudios de Postgrado

Presidente	Dra. Juana Lorena Boix Morán
Secretaria	M.Sc. Irene Franco Arenales
Coordinador Maestría en Ciencias Marinas y Costeras	M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras

**Estimación de la erosión hídrica utilizando la ecuación de pérdida de
suelo- USLE - aplicando herramientas de SIG, vinculando a sus efectos
en la zona de influencia marino-costera en la cuenca río Paso Hondo en
el departamento de Santa Rosa**

TESIS

Presentada al Consejo Académico de CEMA, Departamento de Estudios de
Postgrado en cumplimiento con los requisitos establecidos por el Sistema
de Estudios de Postgrado -SEP- y el Centro de Estudios del Mar y
Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala

POR:

Ing. Agr. Iván Antonio Salazar Sosa

Como requisito para optar al grado académico de
Maestro en Ciencias

Dedicatoria:

Dios Creador del Universo, para algunos en la ciencia no existe, para otros es nuestro guía y lo es todo.

A: un ángel que volvió al cielo, a mi padre **Daniel Salazar Paz**, mi Tata Viejito

A: dos ángeles en la tierra:

El ángel que representa a Dios en la tierra, dadora de vida, mi madre, el ser que, desde su vientre, sus células, su sangre, abrigo mi cuerpo, le pido perdón ya que sin querer sus lágrimas he provocado una que otra vez, te amo, mi ahora niña traviesa **María Eugenia Sosa Pérez**.

El ángel que comparte su vida con la mía, mi amada esposa el complemento de mi vida, mi bebe **Ana Lucia Rodriguez Yocuté**, donde antes eran dos, ahora es uno solo.

A los amigos que son también ángeles, que han estado conmigo en las buenas y en las no tan buenas y puedo contarlos con mis dedos: Elmer Álvarez, Manuel Henry, Patricia Vélez, Sandra Mateo, Enma Leticia Díaz, Héctor López, Miroslava Rodriguez, Daunno Chew.

Mi hermano Byron Daniel Salazar Sosa, mi cuñada Fabiola Melgar y mis sobrinas Daniela, Jania, Pilar, Sarita, como un humilde ejemplo de las metas logradas.

Agradecimientos a:

**La Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por ser la academia guía, formadora
profesionales dignos de la patria.

CEMA-USAC

Por brindarme la oportunidad de continuar
con mi formación profesional.

Compañeros de la maestría

Jorge Lucero, Carlos Mansilla, Melany,
Ramírez, Eleazar Juárez,

Señor

Eduardo Donis Fuentes, por el aprecio,
respeto y el cariño como de un hermano de
toda una vida, brindado a mi padre y a mi
familia.

Asesor

Walter Adrián Ruiz Alvarado, por su apoyo
brindado.

Ingenieros

Marco Tax, Jorge Lucero, Daunno Chew,
Elder Figueroa, Guillermo Santos, por su
gran apoyo y amistad brindada, por el camino
de mi vida.

RESUMEN

El suelo es un recurso renovable, casi no renovable por el tiempo de recuperación muy importante para la vida del hombre, existiendo una estrecha relación de dependencia entre ambos. Sirve de soporte para un número importante de actividades productivas en diferentes sectores como: la producción de alimentos, emplazamientos industriales y el desarrollo habitacional. También tiene funciones productivas directas en actividades primarias como la agricultura, ganadería y silvicultura. El uso del recurso, sin una adecuada planificación con enfoque de sostenibilidad, conlleva a la degradación por diferentes causas, generalmente la principal forma de degradación del suelo es la erosión. Según Suárez, 1980, la erosión es un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre rápido de partículas de suelo causados por el agua y el viento. Generalmente se reconocen dos tipos de erosión: la geológica o natural, la cual se produce sin la intervención de la acción del hombre (fuera de control) y la antrópica o acelerada, en la cual, el hombre ha intervenido al eliminar la vegetación natural protectora e introducir usos del suelo en donde se rompe el equilibrio natural; favoreciendo la acción erosiva del agua y el viento, especialmente en zonas de ladera y sitios con alta pendiente en donde se ha eliminado la vegetación natural (León, 2001). El estudio se realizó metodológicamente en tres fases: recopilación bibliográfica, identificación y clasificación de los parámetros en factores condicionantes (pendiente, texturas de suelos, usos y coberturas de suelos). análisis multicriterio, el cual integra los factores condicionantes y desencadenantes para identificar las zonas potenciales de impacto por acciones antropogénicas con una evaluación multicriterio, basadas en jerarquías analíticas y con una ponderación de acuerdo con matrices modificadas de priorización. Esto último permite la creación de un mapa final para el análisis de áreas y zonas críticas. En la última fase se realizó un análisis de integración sobre impactos y puntos críticos. determinando la erosión potencial y sus efectos mediante la ecuación USLE y la aplicación de los SIG.

Palabras Clave: Erosión hídrica, cuenca, perdida de suelo, erosividad, erodabilidad, estimación.

ABSTRACT

The soil is a renewable resource, almost non-renewable due to the very important recovery time for the life of man, with a close relationship of dependence between them. It serves as a support for a significant number of productive activities in different sectors such as: food production, industrial sites and housing development. It also has direct productive functions in primary activities such as agriculture, livestock and forestry. The use of the resource, without proper planning with a sustainability approach, leads to degradation due to different causes, generally the main form of soil degradation is erosion. According to Suarez, 1980, erosion is a process of soil dragging by the action of water or wind; or as a process of detachment and rapid dragging of soil particles caused by water and wind. Generally, two types of erosion are recognized: geological or natural, which occurs without the intervention of the action of man (out of control) and the anthropic or accelerated, in which, man has intervened by eliminating the natural protective vegetation and introduce land uses where the natural balance is broken; favoring the erosive action of water and wind, especially in hillside areas and sites with high slopes where natural vegetation has been removed (León, 2001). The study was carried out methodologically in three phases: bibliographic collection, identification and classification of the parameters in conditioning factors (slope, soil textures, land uses and coverings). multicriteria analysis, which integrates the conditioning factors and triggers to identify potential impact zones by anthropogenic actions with a multicriteria evaluation, based on analytical hierarchies and with a weighting according to modified prioritization matrices. The latter allows the creation of a final map for the analysis of critical areas and areas. In the last phase, an integration analysis on impacts and critical points was carried out. determining potential erosion and its effects through the USLE equation and the application of GIS.

Keywords: *Water erosion, basin, soil loss, erosivity, erodability, estimation.*

Índice de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	4
2.1. MARCO TEÓRICO	4
2.1.1. La de Cuenca Hidrográfica	4
2.1.2. La cuenca hidrográfica como sistema	4
2.1.3. El Sistema Cuenca hidrográfica, Integrado por los Subsistemas	5
2.1.4. Partes de una Cuenca Hidrográfica	5
2.1.5. División de una cuenca	6
2.1.6. El analisis geoespacial	7
2.1.7. Sistema de información geográfica	8
2.1.8. Percepcion remota para monitore de cuencas	8
2.1.9 Erosión Hidirca en el suelo	9
2.1.10 Modelos para estimar erosión hídrica en cuencas	10
2.1.10.1. Experiencias en el uso de SIG para modelar erosión hídrica	11
2.1.10.2 .Modelo Usle para determinar erosión con SIG	11
2.1.10.3. Factor de erosividad R	13
2.1.10.4. Factor de erodabilidad K	13
2.1.10.5.Factor LS	14
2.1.10.6. Factor C	14
2.1.10.7. Factor P	14
2.1.10.8. El sistema costero	15
2.1.10.9. Conformación de ecosistema costero	15
2.1.10.10 Situacion regional de la contamincaron del mar, áreas costeras y sus fuentes	16
2.1.10.11 Los aportes de las cuencas hidrográficas a las zonas costeras	16
2.2. ESTADO DEL ARTE	20
2.2.1. Instituciones que utilizan Sistemas de Información Geográfica en Guatemala	20
2.2.2. Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación (MAGA)	20
2.2.3. Instituto de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrometría (INSIVUMEH)	20
2.2.4.Facultad de Agronomía, Unidad de Sistemas de Información Geográfica (USIG)	21
2.3. Importancia del monitoreo de cuencas utilizando SIG	21
2.4.Manejo integrado de cuencas en Centro América	21

2.5. Manejo de cuencas en Guatemala	22
2.6. Determinacion de Áreas Críticas	23
2.7. Revisión de estado de erosión en Guatemala aplicando SIG	23
2.2.9. Situación de la zona costera en Guatemala	24
3 . OBEJTIVOS	30
3.1 Objetivo General	30
3.2. Objetivos Específicos	30
4. MATERIALES Y MÉTODOS	31
4.1 Dimencion espacial del area de la cuenca río Paso Hondo	31
4.2 Tipo de investigación	32
5. RESULTADOS Y DISCUSION	47
5.1.1. Descripción de la Fisiografía	47
5.1.2.. Descripcion de la composicion de la Geología	48
5.1.3. Conformación de Suelos	49
5.1.4. Distribución de zonas de vida	49
5.1.5. Tipo de Vegetación	50
5.1.6. Red dedrenajes y corrientes hidricas (ríos)	52
5.1.7. Población	53
5.1.8. Uso de la Tierra	54
5.1.9. Sistema de áreas protegidas	55
5.1.10. Determinación de la pendiente	56
5.3.1 Resultado modelacion de la Erosión Hídrica por medio de USLE y SIG	59
5.3.2. Resultado del Factor R Erosividad	59
5.3.3. Resultado del Factor K Erosdabilidad	60
5.3.4. Resultado de Factor LS	61
5.3.5. Resultado Factor C del cultivo	62
5.3.6. Determinacion de la Erosión Hídrica en la cuenca vinculando áreas criticas y efectos	63
5.3.7. Factor A Erosión Hídrica potencial utilizando USLE y SIG	64
5.3.8. Ubicación de puntos críticos distribuidos en cuenca	65
5.3.9. Áreas s críticas en función de la pendiente e inundaciones	65

5.3.10. Áreas críticas de población vinculadas a recarga hídrica	65
5.3.11. Áreas críticas de inundación vinculadas a población	67
5.3.12. Áreas críticas a manglar por presión humana e inundaciones	68
5.3.13. Áreas críticas según usos, cobertura forestal y sistema de áreas protegidas	68
5.5. DISCUSION DE RESULTADOS	71
6. CONCLUSIONES	75
7. RECOMENDACIONES	76
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

Índice de Figuras

Figura	Pág.
Figura 1 Representación Partes de una cuenca	15
Figura No. 2 Etapas del proceso de erosión hídrica.	19
Figura No. 3 Ubicación Área de Estudio	38
Figura No. 4 Identificación de impactos por medio de sobreposición de capas	42
Figura No. 5 componentes de un SIG	43
Figura No. 6 nomograma clase textural	47
Figura No. 7 diagrama de flujo para obtención de mapas a partir de capas o shape con datos espaciales	42
Figura No. 8 fisiografía	44
Figura No. 9 mapa de Geología	45
Figura No. 10 Mapa de Serie de Suelos	46
Figura No. 11 Mapa de Zonas de Vida	47
Figura No. 12 Mapa de Cobertura Vegetal	49
Figura No. 13 Mapa de Red de Corrientes Hídricas	50
Figura No. 14 mapa de Distribución Centros Poblados	51
Figura No. 15 Mapa de Uso de la Tierra	52
Figura No. 16 Áreas Protegidas	53
Figura No. 17 Mapa de rango de Pendientes dentro de límites de Cuenca Hidrográfica	54
Figura No. 18 Mapa de Ubicación dentro de las partes de la Cuenca Hidrográfica	56
Figura No. 19 Mapa de Distribución de cobertura de Manglar en límites de Cuenca Río Paso Hondo	57

Figura No. 20 Factor R	58
Figura No. 21 Factor K	59
Figura No. 22 Factor LS	60
Figura No. 23 Factor C	61
Figura No. 24 Evaluación potencial de erosión utilizando SIG y USLE	62
Figura No. 25 identificación de puntos en campo	63
Figura No. 26 verificación de las pendientes y rangos	64
Figura No. 27 identificación y verificación de especies vegetales	64
Figura No. 28 Identificación de áreas de manglar	64
Figura No. 29 estimación de áreas basales para determinar área total de manglar	64
Figura No. 30 Ubicación Puntos críticos	65
Figura No. 31 Distribución de centro poblados	66
Figura No. 32 Centros poblados con áreas de inundación	67
Figura No. 33 Ubicación de manglar con centros poblados	68
Figura No. 34 Dinámica cobertura, usos áreas protegidas	70

Índice de Tablas

Tabla	Pág.
Tabla 1. Clasificación Niveles de Erosión	15
Tabla 2. Tipos de roca formadora para rangos de K	40
Tabla 3. Datos para calcular en ráster factor C	42
Tabla 4. Datos para calcular C y P	43
Tabla 5. Variables de importancia ambiental	44
Tabla 6. Factores de Vulnerabilidad	44
Tabla 7. Coordenadas puntos georreferenciados	65
Tabla 8. Distribución de población en áreas de recarga hídrica	69
Tabla 9. Distribución erosión potencial	71

1. INTRODUCCIÓN

Las distintas condiciones climáticas y los usos de la tierra que actúan sobre las diversas situaciones naturales moldean al recurso suelo y, en ciertas ocasiones, lo degradan. La erosión hídrica de suelos es la cantidad bruta de suelo removido por la acción dispersante y de transporte de las gotas de lluvia o del escurrimiento superficial. La pérdida de suelo está representada por los sedimentos desprendidos de un campo con una pendiente determinada. La producción de sedimentos se define como el suelo depositado en un punto que está bajo evaluación (Kirkby, 1994).

Estudios realizados en Guatemala confirman que los suelos del país, especialmente los ubicados en zonas de ladera, se encuentran en un proceso de franca degradación. IARNA-URL (2009), determinó que solamente en las áreas clasificadas con categoría de sobreutilización, de acuerdo a la capacidad de uso de la tierra, se pierden anualmente 149.5 millones de toneladas de suelo por año.

La pérdida de suelo está representada por los sedimentos desprendidos de un campo con una pendiente determinada. La producción de sedimentos se define como el suelo depositado en un punto que está bajo evaluación (Kirkby, 1994). La pérdida promedio de suelo, se puede estimar y utilizar para recomendar ajustes en su uso, a fin de mejorar su retención y reducir los efectos perjudiciales. Una herramienta para estimar la pérdida de suelo es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) que permite obtener tasas de erosión para varios sistemas de uso y manejo en unidades de tierra específicas, combinando la información proveniente de investigación relacionada con la erosión hídrica para proporcionar datos de diseño en los planes de conservación (Wischmeier y Smith, 1978; López Cadenas del Llano, 1998). Cuando estas tasas se comparan con la erosión tolerada, permite definir y seleccionar las combinaciones de cultivo y manejo que posibiliten un control adecuado de la erosión. La USLE faculta a los productores para llevar a la práctica los resultados obtenidos en la investigación para la conservación del suelo (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Páez, 1992).

La erosión hídrica superficial es conveniente analizarla en el marco del paradigma de las cuencas hidrográficas. La cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de las aguas. No hay dos cuencas iguales, las características

físicas de una cuenca (tamaño, forma y relieve) y los recursos vivos que contiene, son únicos, así como los tipos de uso que se presentan (FAO, 1988).

Una de las aplicaciones prácticas de la aplicación SIG está relacionada con la rehabilitación y Manejo de Cuencas, que permite el análisis singular e integral de los recursos, subsistemas y la Cuenca de manera integral. Esta herramienta permite apoyar y facilitar la realización de los diagnósticos, diseñar los planes de manejo, evaluar los avances en proceso de implementación y evaluar los impactos a largo plazo. La información biofísica y socioeconómica puede ser representada en forma espacial con su respectiva variabilidad temporal, de manera que aspectos específicos relacionados con el uso de la tierra, recursos hídricos, sistemas de extensión, accesibilidad, etc. se expresan en mapas y la interpretación cualitativa y cuantitativa sobre el manejo de los recursos naturales y el bienestar del hombre. WV. (2015)

Sillman (1999) nos indica que aproximadamente el 55 por ciento de las cuencas en el Guatemala se comparten con los países vecinos. La mayoría de los arroyos que son monitoreados están en la cuenca del Océano Pacífico. La cuenca más pequeña, que es la cuenca del Océano Pacífico, ocupa el 25 por ciento del país. La cuenca posee arroyos relativamente rectos con cursos inclinados cortos que se originan en las partes elevadas de la Sierra Madre, donde abruptamente se nivelan y fluyen hacia el sur del Océano Pacífico. La extensión promedio de los arroyos es de 100 kilómetros con sus nacimientos a elevaciones de 2,000 a 3,000 metros. Las extensiones altas de la cuenca poseen arroyos que proporcionan de escasas a muy pequeñas cantidades de agua y solamente durante la estación lluviosa, de mayo a octubre. Pendiente abajo los arroyos pueden proporcionar pequeñas cantidades de agua dulce de acuerdo con la estación. Dentro de la planicie costera los arroyos proporcionan cantidades moderadas de agua dulce de acuerdo con la estación. Muchos de los arroyos que proporcionan de grandes a enormes cantidades de agua de salobre a salina a lo largo del año se descargan en pantanos o estuarios en la línea costera. Cantidades de agua superficial se descargan en la planicie costera debido a las prácticas actuales de agricultura y a la falta de regulaciones para implementar el uso equitativo y el tratamiento de los recursos de agua.

El área de estudio de la cuenca del río Paso Hondo contiene en sus límites áreas de manglar y zonas marino-costeras con mucha importancia. Según informe de la FAO (2010) un 25% de áreas de manglar en el planeta han desaparecido en los últimos 20 años, causando graves

impactos ambientales, sociales y en las economías de las comunidades locales usuarias de estos ecosistemas. Las causas de esta deforestación acelerada, es el reclamo de los espacios que ocupan estos ecosistemas para la expansión de ciudades, actividades agrícolas, desarrollos turísticos y principalmente, a partir de la década de los 70, el establecimiento de granjas de cultivo de camarón.

De los manglares El país ha perdido desde 1950 una extensión aproximada de 26,500 hectáreas. de manglares que representan el 70% de su extensión histórica para ese período. Esto tiene serias implicaciones sobre en otros aspectos tales como la mitigación de impactos de desastres naturales por eventos climáticos como los ocasionados por el huracán Mitch y la tormenta tropical Stan. Así como la reducción impactos negativos de los eventos climáticos sobre recursos pesqueros (MARN, 2009, p. 4).

Según Saenger (2002). Indica que la ganadería, el crecimiento de la frontera agrícola, la industria camaronera y las actividades turísticas no ordenadas, constituyen las principales amenazas que afectan su condición ecológica.

En Guatemala, además de dichos problemas, se suma la impunidad por los delitos en contra del manglar y la falta de información que existe del ecosistema. Los pobladores de las aldeas cercanas han aprovechado el mangle principalmente con fines energéticos y construcción de ranchos, sin brindarle un manejo que contribuya a su recuperación y conservación. Lo anteriormente descrito no es a dicha cuenca del río Paso Hondo y por esta razón se planteó y utilizo en el presente estudio, la aplicación de herramientas de análisis geoespacial para explicar la dinámica en la cuenca del río Paso Hondo ubicada en el departamento de Santa Rosa, como una herramienta de análisis y monitoreo, ya que la cuenca impacta directamente en el área de manglar de la zona marino costera del departamento de Santa Rosa y específicamente un área protegida de interés del CONAP como lo es la Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Marco Teórico

2.1.1. La cuenca hidrográfica

Herrera (1997) entiende por cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje al espacio delimitado por la unión de todas las cabeceras que forman el río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico formado así un sistema.

Este sistema posee entradas y salidas de agua por las siguientes formas:

Las entradas por Precipitación: Lluvia, granizo, nieve, condensaciones.

- Aporte por aguas subterráneas: provenientes de otras cuencas o mantos acuíferos subterráneos.
- Traspase de otra cuenca
- Descargas: de centrales hidroeléctricas cuya captación se sitúa en otra cuenca
- Descarga: de aguas servidas de ciudades situadas en las cuencas.

Las salidas de agua de la cuenca pueden darse por:

- Evapotranspiración: de bosques o de áreas cultivadas con o sin riego
- Evaporación desde superficies líquidas como lagos, tanques o pantanos
- Infiltraciones: profundas que alimentaran acuíferos
- Derivaciones hacia otras cuencas hidrográficas;
- Derivaciones para consumo humano y en la industria;
- Salida de la cuenca, hacia un receptor o hacia el mar.

Breña (2006) define que en una cuenca hidrográfica es necesario e indispensable que se tenga en cuenta un equilibrio entre las entradas y salidas del recurso hídrico que es lo que conocemos como el “balance hídrico” el cual consiste en determinar el estado actual y proyecciones futuras

del recurso hídrico en cuanto a cantidad y calidad, estableciendo la presión sobre el mismo al considerar su distribución espacial y temporal de oferta, disponibilidad y demanda.

2.1.2. La cuenca hidrográfica como sistema

Gaspari (2009) nos sugiere que para comprender por qué la cuenca hidrográfica es un sistema es necesario explicar que:

- a) En la cuenca hidrográfica existen entradas y salidas, por ejemplo, el ciclo hidrológico permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua.
- b) En la cuenca hidrográfica se producen **interacciones entre sus elementos**, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas.
- c) En la cuenca hidrográfica **existen interrelaciones**, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas, etc.

2.1.3. El Sistema cuenca hidrográfica, integrado por los subsistemas

Según el manual de Manejo de Cuencas de (World Visión [WV]. (2004) este sistema se subdivide en subsistemas como se describe a continuación:

- a) Biológico, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre.
- b) Físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación, etc.).
- c) Económico, integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria; servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades)

d) Social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, entre otros. Los elementos que integran los subsistemas variarán de acuerdo con el medio en el que se ubique la cuenca y al nivel de intervención del factor humano.

2.1.4. Partes de una cuenca hidrográfica

Como lo indica el manual de cuencas de (Visión Mundial 2004) Una cuenca hidrográfica se puede decir que está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice, por ejemplo:

Criterio 1 Altitud: Si el criterio utilizado es la altura, se podrían distinguir la parte alta, media y baja, sucesivamente, en función de los rangos de altura que tenga la cuenca. Si la diferencia de altura es significativa y varía de 0 a 2,500 msnm, es factible diferenciar las tres partes si esta diferencia es menor, por ejemplo, de 0 a 1000 msnm, posiblemente sólo se distingan dos partes, y si la cuenca es casi plana será menos probable establecer partes. Generalmente este criterio de la altura se relaciona con el clima y puede ser una forma de establecer las partes de una cuenca. (Figura 1).



Figura 1 Representación partes de una cuenca según criterio de altitud adaptado del Manual de Manejo Integrado de Cuencas Visión Mundial 2004

Criterio 2 Topografía: Otro criterio muy similar al anterior es la relación con el relieve y la forma del terreno, las partes accidentadas forman las montañas y laderas, las partes onduladas, casi planas y planas, forman los valles; y finalmente otra parte es la zona por donde discurre el río principal y sus afluentes, a esta se le denomina cauce.

2.1.5. División de una cuenca

(Sarmiento 2003) Indica que la cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. A un curso principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al curso principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son cauces menores.

Sub cuenca:

Territorio que drena hacia el cauce principal de una cuenca el cual está conformado por un grupo de microcuencas.

Microcuenca:

Territorio que drena sus aguas hacia un curso principal de una subcuenca, es decir que la cuenca se divide en subcuencas las que a su vez se dividen en microcuencas.

2.1.6. El Análisis geoespacial

(Olaya 2009) indica que se puede describir como Análisis Geoespacial al conjunto de actividades que tienen como objetivo la explotación y análisis de imágenes (ya sean aéreas o de satélite) e información geoespacial que describe, valora, y representa visualmente las características físicas y geográficamente referencia las actividades en la tierra. Debido a la constante evolución de las tecnologías de información geográfica, y reconociendo la importancia que la información ejerce sobre las actuaciones humanas, es imprescindible detectar con anticipación, los retos que la sociedad demanda por medio de la utilización e interpretación de los Sistemas de Información Geográfica. Los métodos del análisis espacial de datos se han desarrollado y puesto en práctica en contextos muy diferentes. Como resultado de adaptar tecnologías genéricas a las necesidades específicas de datos espaciales se ha obtenido los SIG. Las nuevas tecnologías han estimulado también la nueva ciencia dado que los investigadores han comenzado a reflexionar acerca de las implicaciones de las nuevas fuentes de datos o de las nuevas actividades basadas en la tecnología. Estas a su vez han estimulado nuevas clases de métodos analíticos y nuevas hipótesis acerca del mundo geográfico.

2.1.7. Sistema de información geográfica (SIG)

Carmona y Monsalve (2004) indican que es una serie de elementos y sistemas que interactúan a través de los sensores remotos para la obtención de información a distancia que utilizan un programa de software que combina los datos que puede ser atado a las coordenadas geográficas con las herramientas y métodos que pueden transformar la información en una herramienta analítica poderosa. Tecnología SIG puede superponer muchos tipos de datos, incluidos los demográficos, estadísticos, topográfico, la infraestructura de la ciudad, o los datos relacionados con el clima, hídrico, forestal, ambiente, vegetación, riesgos, geología, fisiografía y otros representados en mapas para transformar datos complejos en información útil. En conjunto, los programas de SIG, los datos y las metodologías se combinan para proporcionar una tecnología llamada análisis geoespacial.

(Calderón, 2011) propone que un sistema de información geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada y en un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

2.1.8. La percepción remota y su aplicación en monitoreo de cuencas

Según Cotler (2004) La percepción remota o teledetección consiste en un conjunto de técnicas que permiten obtener información de los objetos a partir del análisis de su respuesta espectral. En general, los sistemas de captura de datos están constituidos por sensores transportados por aeronaves o satélites, que son capaces de recibir y almacenar la respuesta espectral de los objetos en varias bandas del espectro electromagnético. La información así obtenida es plasmada bien en material fotográfico, bien en archivos digitales que pueden ser analizados

mediante algoritmos de clasificación numérica o mediante análisis visual. Independientemente del método de interpretación que se utilice, las imágenes Aero satelitales, incluidas las fotografías, ofrecen la posibilidad de derivar mapas de cobertura del terreno, distribución de las formas del relieve (mismas que permiten diferenciar tipos de roca y de suelos), así como cartografiar fielmente cauces, cuerpos de agua y otros elementos culturales del territorio (localidades, infraestructura).

Los mapas y bases de datos derivados de la percepción remota pueden alimentar procesos de modelamiento hidrológico y análisis del paisaje en SIG. A partir de la información secuencial de cobertura se puede establecer el cambio en el uso del suelo, el crecimiento de localidades urbanas, la pérdida de vegetación natural, así como el progreso de otros procesos de transformación o degradación que tienen impacto en el balance hidrológico. En síntesis, esta información, convenientemente procesada en los SIG aporta elementos para determinar la oferta y la demanda del recurso hídrico.

2.1.9 Erosión hídrica en el suelo:

La erosión es el conjunto de procesos en la superficie de la corteza terrestre que producen pérdida física del subsuelo cultivable en grado variable. Ocurre naturalmente por la fuerza de la gravedad en zonas de montaña o cuando el suelo es expuesto a la acción del viento o del agua.

Sin embargo, el principal agente causal de la erosión de los suelos es el hombre, al dejar los suelos expuestos para el desarrollo de actividades agrícolas (León, 2001).

Según Morgan (2009), la erosión del suelo tiene dos fases consistentes en la separación de las partículas individuales de la masa de suelo y su transporte por la acción de los agentes erosivos como el viento y la lluvia. Cuando la energía no es suficiente para transportar las partículas, ocurre la tercera fase deposición. La erosión hídrica, de acuerdo con Cisneros et al., 2012, es el proceso por medio del cual se produce el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo por acción de los siguientes agentes:

- La energía cinética de la gota de lluvia: se disipa en el suelo produciendo la ruptura de los agregados y generando una salpicadura (erosión por salpicadura), con partículas de suelo que, posteriormente son arrastradas pendientes abajo.
- La escorrentía en movimiento: este agente erosivo produce el

desprendimiento de nuevo suelo y transporta el suelo removido, la magnitud es proporcional a la velocidad del flujo sobre la superficie. distinguen dos tipos de flujos: laminar (erosión laminar) que se mueve con una velocidad lenta, y el flujo turbulento/concentrado o flujo en surcos (erosión en surcos). En el marco del manejo y gestión de cuencas hidrográficas, la consideración de los recursos suelo y agua para su conservación y manejo, requiere de conocimiento de las relaciones entre los factores que causan la pérdida de suelo y las alternativas o medidas de acción necesarias para reducir dicha pérdida. Según León, (2001), la pérdida de suelo se ve agravada por la acción del hombre a través de las explotaciones forestales desordenadas, obras civiles sin consideraciones ambientales, minería descontrolada y de las actividades agrícolas sin considerar los criterios de conservación de suelos y aguas. (Figura 2).

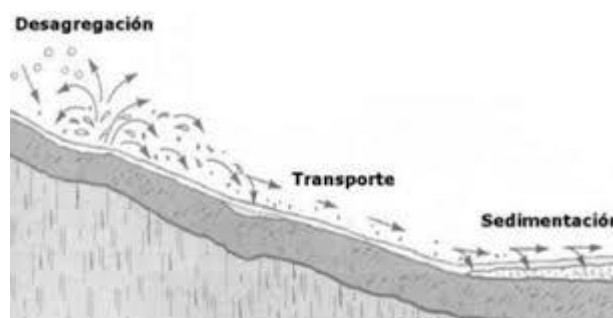


Figura 2 Etapas del proceso de erosión hídrica tomado de Cátedra de Manejo de Tierras, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. 2012

2.1.10. Modelos para estimar la erosión hídrica

Existe una amplia gama de modelos para la estimación de la erosión hídrica desarrollados en un siglo de investigación del tema, los cuales varían en términos de la información requerida los procesos que realizan para generar una estimación. En términos generales, los modelos se pueden clasificar en tres grupos: conceptuales, empíricos y de base física.

Los modelos empíricos corresponden al análisis de la observación y la caracterización de las respuestas de los datos tomados. Estos requieren comúnmente menor cantidad de datos.

Los modelos conceptuales se basan, normalmente en la representación de una cuenca y los procesos que ocurren a lo interno de esta. Estos, generalmente, aunque incluyen los procesos en la cuenca, no consideran las interacciones de estos procesos entre sí.

Los modelos físicos se basan en la solución de las ecuaciones fundamentales que describen el proceso físico de los caudales y los sedimentos, así como la generación de los nutrientes en una cuenca determinada. Estos usan, normalmente, las ecuaciones de conservación de la masa y momentum para el flujo, así como las ecuaciones de conservación de la masa de sedimento (Bennett, 1974), citado por Villa, 2012.

2.1.10.1. Experiencias de uso de SIG para modelar la erosión hídrica

Los sistemas de información geográfica constituyen un conjunto de herramientas que permiten realizar análisis espacial de diferentes fenómenos que ocurren dentro de un espacio geográfico determinado. Sin la ayuda de estas herramientas es complejo realizar estimaciones a un nivel de territorio

más amplio, como, por ejemplo, a nivel de una cuenca hidrográfica. Se identificaron estudios realizados en diferentes partes del mundo en donde se aplicó la herramienta SIG para la estimación de la erosión, en este sentido se priorizaron estudios recientes realizados en la región de Latinoamérica. Se analizaron las técnicas, los métodos y, sobre todo, las fuentes de información empleadas, ya que especialistas en la materia manifiestan que en países como Guatemala se tiene limitantes de información para poder realizar análisis como la aplicación de la USLE, pero puede utilizarse.

2.1.10.2. Modelo USLE para utilizar con SIG

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (–EUPS–), también conocida como USLE por sus siglas en inglés, fue desarrollada por el Servicio de conservación de suelos (–SCS–) de Estados Unidos en la década de 1950. La USLE se desarrolló a partir de datos experimentales de más de 8,000 parcelas distribuidas en el territorio de Estados Unidos, combina diferentes condiciones climáticas, de suelo, pendiente y sistemas de uso del suelo y manejo (Wischmeier & Smith, 1978).

La ecuación básica del modelo USLE es la siguiente:

Donde:

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

- A = pérdida de suelo por unidad de superficie y tiempo, expresado en

$(T \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1})$

- R = factor de erosividad de la lluvia $(MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot año^{-1})$
- K = factor de erodabilidad del suelo $[(Mg \cdot ha^{-1}) \cdot (MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1})]$
- LS = factor de longitud y pendiente del terreno (adimensional)
- C = factor de cobertura (adimensional)
- P = prácticas de conservación del suelo (adimensional)

La ecuación USLE, de acuerdo con Kirby y Morgan, (1984), citado por Cisneros et al., (2012) puede ser utilizada en las siguientes situaciones:

- Estimar la pérdida anual promedio de suelo de una pendiente, o un campo con condiciones específicas de uso y manejo de la tierra.
- Apoyar la toma de decisiones en la selección de sistema de uso y manejo, y de prácticas de conservación para condiciones específicas de suelos y pendientes.
- Estimar el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en el uso o de las técnicas de conservación sobre una situación dada.
- Determinar cómo puede aplicarse o alternarse las prácticas de conservación para permitir un uso más intensivo de las tierras, manteniendo una pérdida de suelo tolerable.
- Estimar las pérdidas de suelo en áreas con usos distintos al agrícola.

A continuación, se detalla cada uno de los factores que conforman la USLE, indicando métodos para su estimación y la forma en la que fueron adaptados para la investigación.

2.1.10.3. Factor de erosividad de las lluvias R:

El factor R representa la erosividad de la precipitación pluvial, que se define como la capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión. Es una función de dos características de las lluvias intensas: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 minutos.

2.1.10.4. Factor de erodabilidad del suelo K

La erodabilidad del suelo es su vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión expresada en unidades de pérdida de suelo (t/ha) por cada punto de R $(MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1})$. El principio es cada tipo de

suelo se erosiona de manera diferente, manteniendo constantes los demás factores. Los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores K, cerca de 0.05 a 0.15, por su resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. Los suelos con texturas gruesas, como los arenosos, tienen bajos valores desde 0.05 hasta 0.2; suelos con texturas media como los francos, tienen un valor moderado de k, cerca de 0.25 a 0.4, ya que son susceptibles a la erosión.

Existen diferentes métodos para calcular el factor K, el primero es el propuesto por Wischmeier & Smith (1978), el cual se calcula en función de 4 variables: porcentaje de limo más arena fina, porcentaje de arena, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. Otra metodología para estimar el factor K es la propuesta por Williams (1990), citada por Flores, Martínez, Operaza, Saens, & González (2003),

2.1.10.5. Factor de longitud de la pendiente L y gradiente de la pendiente Factor S

La longitud de la pendiente representa la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie de suelo, hasta el punto en donde disminuye la pendiente, o hasta el punto en el que el escurrimiento entra en un canal definido. El gradiente de la pendiente se expresa como el porcentaje de la pendiente. La USLE integra los valores de la longitud y el gradiente de la pendiente como uno solo LS.

L es el factor de longitud de la pendiente que representa el efecto que esta variable tiene en la erosión y es adimensional. Es la razón entre la pérdida de suelo de la longitud real y la longitud de una parcela de 22.1 metros en el mismo suelo y gradiente. En términos generales, la erosión no es muy sensitiva a la longitud de la pendiente, especialmente en terrenos con paisajes planos.

S es el grado de inclinación de la pendiente. Está comprobado que la pérdida de suelo se incrementa con pendientes muy escarpadas. Los valores L y S se presentan juntos y cuando tienen una longitud de 22.1 y una inclinación del 9 % el valor es 1. Este es uno de los factores muy complejos de calcular a nivel de cuenca, si se realiza por medio de comprobaciones de campo, sin embargo, aplicando SIG, este se puede estimar con buen nivel de detalle.

2.1.10.6. Factor de cobertura por manejo de los cultivos C

El factor de manejo de cultivos C, representa la relación de la pérdida de suelo a partir de una condición específica de cultivo o cobertura, con la pérdida de suelo a partir de un estado de barbecho continuo para el mismo suelo, pendiente y precipitación pluvial. Cuando se combinan condiciones de suelos desnudos y cultivos a favor de la pendiente se tiene el valor máximo de C, que es igual a 1. Este factor, también considera el efecto de las copas y rastrojos, la secuencia del tipo de cultivos, entre otros. En la revisión de la ecuación universal de la pérdida de suelo (Renard,

Foster, Weesies, McCool, & Yoder, 1997), incluyen cuatro sub-factores para la estimación del factor C, siendo estos: uso previo del suelo, cobertura aérea, cobertura del suelo, rugosidad de la superficie, humedad del suelo; todos tienen valores entre 0 y 1, indicando que no hay pérdida de suelo hasta una alta pérdida de suelo. Así, por ejemplo, cuando se tiene un suelo cubierto con concreto hidráulico, el valor de C es 0.

2.1.10.7. Factor de prácticas de conservación P

El factor de prácticas de conservación de suelos y control de la erosión indica la proporción de suelo perdido aún después de contar con una determinada práctica, por lo tanto, las prácticas de conservación de suelo tienen un nivel de efectividad limitado, de acuerdo con la efectividad de la medida que se implemente.

2.1.10.7. Clasificación de la erosión

Para tener una calificación del grado de erosión al que está expuesto un territorio se han empleado diferentes criterios de clasificación, entre los que se pueden mencionar: la clasificación efectuada por CENICAFE (1975). Sin embargo, una de las más utilizadas por diferentes autores es la establecida por: FAO, PNUMA, & UNESCO (1980). En el cuadro I se presentan los valores empleados bajo este criterio. (Tabla 1)

Tabla I. Clasificación de los niveles de erosión

Niveles de Erosión	Valor en T*Ha-1año-1
Leve	0 a 10
Moderada	11 a 50
Fuerte	51 a 200
Muy fuerte	Mayor a 200

Fuente: FAO, metodología provisional para evaluación de degradación de suelos et al. (1980).

2.1.10.8. El Sistema Costero

Si nos atenemos a las definiciones clásicas, que se pueden encontrar en tratados de medio ambiente (Carter, 1988), la zona costera se define como una banda de tierra, de ancho variable, formada por la interacción de procesos terrestres, marinos y atmosféricos. De la misma forma podrían considerarse como aguas costeras las masas de agua, de ancho y profundidad variables, influidas por la interacción de procesos terrestres, marinos y atmosféricos. Así como el ecosistema de las riberas no se puede separar del río, la zona costera no debería separarse de las aguas costeras, ya que se trata de ecosistemas interconectados. De acuerdo con lo anterior, las aguas costeras y de transición serían la parte acuática del sistema costero. Los sistemas costeros y, en consecuencia, las aguas costeras y de transición, reciben una gran influencia tanto del continente como del mar. Las sustancias disueltas y en suspensión que contienen los ríos, canales, redes de saneamiento, aguas de escorrentía superficial y, a menudo, aguas subterráneas, alcanzan el mar a lo largo de las costas. En condiciones naturales, los sistemas fluviales y las avenidas tienen un papel relevante en la formación y evolución de los sistemas costeros, al ser la principal

fuerza de material sedimentario. Asimismo, los aportes de aguas de baja salinidad y elevado contenido en nutrientes constituyen un elemento fundamental en el mantenimiento de las cadenas tróficas en las aguas costeras, en sentido amplio, y de transición.

2.1.10.9. Conformación de los Ecosistemas Costeros

Dentro del sistema costero encontramos estuarios, lagunas litorales, playas y dunas, arrecifes coralinos, praderas sumergidas, etc., Todos estos elementos tienen un papel significativo como filtradores o depuradores de los aportes terrestres hacia el océano o recíprocamente, como protectores de inundaciones debidas a temporales marítimos. Asimismo, el sistema costero resulta esencial como fuente de riqueza puesto que sus elementos contribuyen directa o indirectamente en producir bienes de consumo, a través de la pesca o explotaciones minerales, o en proveer servicios: transporte, comercio y comunicaciones, recreo, etc. Además, el sistema costero es una zona preferencial para el asentamiento humano, como demuestra el hecho de que casi la mitad de la población mundial vive dentro o cerca de él.

2.1.10.10. Situación regional de la contaminación del mar, áreas costeras y sus fuentes

Según la definición dada por el El Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino -GESAMP-, y adoptada por la comunidad internacional en la

Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Art.1.4), por “**contaminación del medio marino se entiende la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino incluidos los estuarios**, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluidas la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua del mar para su utilización y menoscabo de los

lugares de esparcimiento” (Naciones Unidas, 1984). ***En esta definición, la contaminación de las cuencas hidrográficas es considerada conceptualmente con la inclusión de los “estuarios”.***

Este concepto de contaminación marina ha sido reformulado para incluir una amplia gama de factores de degradación de las franjas costeras y del medio marino, siendo el Programa 21 el que ha realizado los mayores aportes para incluir y diferenciar las fuentes terrestres de contaminación marina. Estas son todas las variadas fuentes puntuales y no puntuales que contribuyen con la contaminación del mar y los contaminantes que son transportados por los ríos, estuarios, canales y otros cursos de agua, incluyendo las filtraciones al mar y provenientes de flujos superficiales y subterráneos, así como de los emisarios submarinos de aguas servidas. También se incluye la sedimentación resultante de la erosión y de las prácticas del uso de la tierra en las partes altas y en las áreas costeras (Kimball, 1995), en particular los relaves mineros arrojados al mar.

De acuerdo con GESAMP (2001), las principales fuentes fijas de contaminación corresponden a las plantas industriales, desechos municipales y sitios de extracción, explotación y construcción como excavaciones (explotación agrícola, aprovechamientos forestales, minería, etc.). Los contaminantes presentes en las fuentes industriales son por lo general **nutrientes**, metales pesados, **compuestos orgánicos específicos**, radionúclidos y propiedades físico-químicas **específicas como pH, salinidad, demanda de oxígeno, dureza**, etc. Los componentes de los desechos son microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico y se encuentran combinados con aceites, grasas y productos químicos derivados de las industrias, los que entran en las corrientes de desechos domésticos a través de los sistemas de alcantarillado y la escorrentía pluvial. Los desechos industriales contienen además cantidades altas de materia

orgánica provenientes de las plantas procesadoras de alimentos y bebidas y de la industria del cuero y de la madera. Otras actividades aumentan la descarga de sedimentos como los relaves mineros. **Las fuentes difusas más evidentes corresponden a la agricultura, por el uso de pesticidas e insecticidas, así como el aporte de residuos de insumos agrícolas y restos de vegetales y animales.** Muchas veces se produce la contaminación de acuíferos. La actividad forestal intensiva, sobre todo de plantaciones, también es una fuente difusa de contaminantes y produce, al igual que la **actividad agrícola, cargas de nutrientes, pesticidas y sedimentos.** El principal efecto de estas actividades es el incremento en la movilización de sedimentos, nutrientes y material particulado.

2.1.10.11. La importancia de las áreas costeras

En las áreas a lo largo de la costa se experimenta un crecimiento rápido de población. Cerca de la mitad de la población mundial está localizada a menos de 60 kilómetros de la costa y podría llegar al 70% en el año 2020 (Naciones Unidas, 1992). En las zonas cercanas a las costas hay un activo crecimiento industrial. Las franjas costeras, donde desembocan ríos o aflora agua subterránea son, en general, un mosaico complejo e interactivo de ecosistemas compuestos por humedales, lagunas costeras, marismas, manglares, tierras húmedas, hábitats de aguas dulces, estuarios y zonas ribereñas interconectados por canales y además son receptoras de material, agua dulce, sólidos disueltos, partículas y recursos vivos provenientes de los continentes. En la mayoría de los países, las áreas aledañas a las costas constituyen zonas muy activas de desarrollo económico y social. Los servicios ecosistémicos de las áreas costeras son muy amplios. Son una efectiva defensa natural que regula muchas alteraciones, como el efecto de inundaciones, marejadas, tormentas y crecidas. También proporcionan alimento y refugio para un gran número de organismos y contribuyen a través de sus procesos naturales, a reducir contaminantes etc., Los servicios provisionados por los ecosistemas acuáticos costeros, han sido contabilizados a nivel global, a partir de la estimación de los costos de reproducirlos en una “biosfera artificial” en US\$ 11.4 trillones (Costanza R et. al. 1997).

2.1.10.12. Los aportes de las cuencas hidrográficas a las zonas costeras

Según lo indicado por (Escobar J. 2000) Los escurrimientos de agua captados por las cuencas hidrográficas concentran y conectan las zonas costeras con el interior de los países a través de un flujo constante de materiales, recursos vivos, nutrientes y contaminantes. Se ha estimado

que el flujo de contaminantes y material producido por actividades humanas han afectado más de la mitad de las franjas costeras mundiales, en un grado de riesgo entre moderado y alto. Cerca del 17% de las franjas costeras sudamericanas y el 6% de las mesoamericanas están en un alto riesgo a causa del efecto de las descargas de aguas contaminadas por drenajes municipales, por la escorrentía agrícola y otras Causas. Cerca del 90% de la contaminación producida al interior de los países es transportada por los ríos al mar. En las cuencas, la intensificación del uso agrícola del suelo, la ampliación de las fronteras agrícola y urbana y la consiguiente deforestación producen importantes cargas de nutrientes y sedimentos en las aguas costeras, que cuando exceden a la capacidad de carga de los ecosistemas se traducen en verdaderos problemas ambientales. La contaminación de las aguas costeras, la erosión costera, la pérdida de hábitat y de recursos son, entre otros, algunos de los principales problemas que se crean por contaminación de origen terrestre.

La alteración física, la destrucción del hábitat, el exceso de nutrientes, los desechos municipales y los cambios en el flujo de sedimentos, han sido identificados en la 1ª Reunión Intergubernamental de Revisión del Programa de Acción para la Protección del Medio Marino por la Contaminación Procedente de Actividades en Tierra, PAM (Montreal, noviembre del 2001), como las principales fuentes contaminantes y por lo tanto las primeras a ser compartidas por los gobiernos.

2.1.10.13. La zona Costera en Guatemala

La zona costera se define como el espacio delimitado por la interfaz de interacciones del mar con la tierra, aguas epicontinentales y la atmósfera. La transición de estas cuatro fases incide profundamente en las condiciones y en la dinámica ambiental, a las cuales se agrega el influjo del hombre como agente transformador de primera magnitud. (Yáñez y Arancibia, 1986). Hay que tomar en cuenta las consideraciones legales de los países, lo cual puede facilitar o dificultar dicha definición Rodríguez y Windevoxhel, (1998). Guatemala no ha normado y regularizado el uso de la reserva territoriales de la nación y la zona marítimo terrestre. Las definiciones ligadas a la Zona Marina Costera son vitales para establecer el ámbito geográfico de aplicación de normas y política:

Zona Económica Exclusiva que incluye:

- Mar territorial
- Plataforma Continental
- Zona Adyacente

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Aplicación de SIG o Herramientas Geoespaciales

(Heywood 2006) describe que los métodos del análisis espacial de datos se han desarrollado y puesto en práctica en contextos muy diferentes. Como resultado de adaptar tecnologías genéricas a las necesidades específicas de datos espaciales se ha obtenido los SIG. Las nuevas tecnologías han estimulado también la nueva ciencia dado que los investigadores han comenzado a reflexionar acerca de las implicaciones de las nuevas fuentes de datos o de las nuevas actividades basadas en la tecnología. Estas a su vez han estimulado nuevas clases de métodos analíticos y nuevas hipótesis acerca del mundo geográfico a continuación se describen las instituciones que manejan los SIG en Guatemala.

2.2.2. Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación (MAGA)

El trabajo en el laboratorio de sistemas de Información geográfica del ministerio de agricultura inició después de que el Huracán Mitch azotara a los países de Centro América y se observara la falta de coordinación para responder a desastres de este tipo en nuestro país. Se comprendió, que, para poder responder a situaciones como esta, no se contaba con un sistema de información que permitiera enfrentar estas emergencias.

2.2.3. Instituto de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrometría (INSIVUMEH)

Durante varios años, INSIVUMEH ha proporcionado a la población en general, informes de fenómenos ambientales y naturales (lluvias, sequías, temblores, etc.), esto hace que se cuente con mucha experiencia en el análisis y entendimiento de estos temas. Entre la información que puede proporcionar con los datos que se recolectan están:

- Balance hídrico
- Cuencas
- Deslizamientos
- Humedad relativa
- Heladas
- Precipitación por mes durante todo el año, y otros más.

2.2.4. Facultad de Agronomía, Unidad de Sistemas de Información Geográfica (USIG)

La siguiente sección corresponde al trabajo que desarrolla la Unidad de Sistemas de Información Geográfica USIG, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El propósito principal de esta unidad es la de proporcionar apoyo a los proyectos de investigación de EPS dentro de la facultad de Agronomía. Específicamente, proporciona apoyo técnico a quienes elaboran sus trabajos de graduación, permitiendo realizar los análisis que necesiten durante su Investigación de campo. Entre la información que proporciona la unidad está:

Tipos de suelos, cuencas, uso del suelo y otros datos que son de utilidad Durante la realización de investigaciones.

2.3.Importancia del Monitoreo de Cuencas utilizando Sistemas de Información Geográfica

En los últimos años la Teledetección se ha desarrollado de una manera espectacular, diseñándose aplicaciones para casi todas las áreas de las ciencias de la tierra (Fabregat, 1999) debido a las grandes posibilidades y ventajas que presenta: localización de espacios geográficos, observación de fenómenos temporales e integración de resultados en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G), reduciéndose en muchos casos el tiempo empleado y el dinero invertido en los estudios sobre el terreno (Baker et al., 2006; Shanmugan, 2006).

2.4.Manejo Integrado de Cuencas en Centro América.

En los últimos años, en Centro América se ha enfatizado sobre las consecuencias que traen consigo la eliminación de la cubierta boscosa y el mal uso de los recursos suelo y agua en cuencas hidrográficas. La causa de estas preocupaciones se debe a los desequilibrios hidrológicos que vienen experimentando algunas áreas, las grandes inundaciones y torrentes en otras y los procesos acelerados de erosión del suelo que incrementan el potencial de la contaminación de las aguas.

Resultado de este avance, es la conciencia conservacionista que actualmente se está desarrollando y el interés del público por todo lo relacionado con la protección de los recursos naturales. Los continuos y costosos desequilibrios hidrológicos que se están experimentando en

la actualidad en el área centroamericana se han convertido en un tema cotidiano que demanda acción inmediata por parte de los gobiernos y los organismos internacionales especializados en el ramo. En su gran mayoría, estas anomalías están asociadas con actividades humanas presentes y pasadas, que han transformado los complejos ecosistemas naturales en sistemas más simples y fáciles de manejar.

2.5. Manejo Integral de Cuencas en Guatemala

Casos de impactos negativos y significativos, generalizado caos y agudo dramatismo, tales como la sequía que se vivió en el Oriente de Guatemala en 2002, el paso de la tormenta Stan, en 2005, o los recurrentes eventos de sequía o inundación que se suceden año tras año, han sembrado una voz de alarma que nos induce a considerar qué podría pasar si el deterioro ambiental y en él, el deterioro de las cuencas hidrográficas continúa su ritmo ascendente y acelerado. Lamentablemente, dicha voz va perdiendo intensidad en la medida en que pasa el tiempo y los sucesos se agolpan en la dinámica social y política del país. Una gestión integral implica tomar en consideración los vínculos que existen entre el entorno biofísico y la dinámica social, política, económica y cultural que se suscita en él. También conlleva considerar los niveles de coordinación que privan en las relaciones entre instituciones del Estado, y entre éstas y el sector privado, la sociedad civil organizada, los gobiernos locales, los pueblos indígenas y la ciudadanía en general. Implica, finalmente, la consideración de temporalidades: el pasado y el presente con visión prospectiva, en aras de evitar un mayor deterioro ambiental, fomentar la resiliencia de los ecosistemas y, a la vez, lograr el desarrollo sostenible y sustentable, pensando en las generaciones por venir.

Derivado de esta dinámica el gobierno de Guatemala por medio del Ministerio de Agricultura promueve el desarrollo rural territorial por medio del manejo integral de cuencas como unidades básicas de planificación e intervención.

2.6.Determinación de áreas críticas en Cuencas:

Un área crítica es aquella en la que existen situaciones en las cuales hay alteraciones que disminuyen condiciones ambientales que hacen sostenible la cuenca. Una vez identificados los problemas y conflictos prioritarios de la cuenca se especializan para determinar áreas en las que confluyen estas situaciones y marcan la criticidad de un área determinada. Ministerio Ambiente Colombia (2014)

- Áreas deforestadas por quema, erosión y áreas en proceso de desertificación
- Áreas de sobreutilización y subutilización del suelo
- Laderas con procesos erosivos moderados y severos
- Áreas de asentamientos humanos en zonas de amenaza
- Deficiente cantidad de agua para los diferentes tipos de uso

2.7. Revisión de estudios de Erosión hídrica en cuencas realizados en Guatemala aplicando SIG

Se procedió a identificar los estudios de erosión hídrica realizados en el país, priorizando a los que tuvieran relación directa con los objetivos de la presente investigación, en cuanto a zona de estudio, metodología utilizada, coberturas del suelo consideradas, entre otros. Además, se realizó una investigación bibliográfica de reportes nacionales en donde se considera el problema de la erosión hídrica, para ello se buscó información en centros de investigación, universidades, instituciones del Estado relacionadas con el tema, entre los que se encuentran el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (-MARN-), Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (-MAGA-) y el Instituto Nacional de Bosques (-INAB-), Instituto Geográfico Nacional (-IGN-).

Arana (1992), quien en su tesis de maestría realizada en la cuenca del río Pensativo (localizada en el departamento de Sacatepéquez), determinó que los valores de erosión media de la cuenca son de $39.87 \text{ T*ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, en este ejercicio se aplicó la ecuación universal de la pérdida de suelo. En la cuenca del río Chixoy, Tobías (2013), cita el trabajo realizado por (González, 1994), quién aplicando Sistemas de Información Geográfica, estimó la erosión hídrica en dos subcuencas prioritarias del río Chixoy (Pacaranat y Serchil), con valores de erosión potencial de 4.6 a $136.9 \text{ T*ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, en este estudio se aplicaron herramientas de IDRISI. En la cuenca

del río Itzapa, en el municipio del mismo nombre del departamento de Chimaltenango, Motta (1999), realizó una investigación para determinar la erosión hídrica, los resultados indican que en áreas con pendientes entre 25 y 40 % con cultivo de hortalizas (coliflor), la erosión hídrica presentó valores de 31.63 a 66.04 T*ha-1* año-1.

Argueta (2010) realizó un estudio en la cuenca del río Negro localizada entre los municipios de San Andrés Itzapa y Parramos, del departamento de Chimaltenango, se compararon tres métodos indirectos para estimar la erosión; (i) metodología propuesta por Almorox (ii) metodología de evaluación de la erosión del suelo –LEAM- y (iii) Ecuación Universal de Pérdida de Suelo -USLE-, los resultados obtenidos, aunque similares muestran una coincidencia solo del 9 % de los valores para los mismos sitios, se determinó que la principal fuente de variación es la cobertura vegetal.

2.8.Situación de la Zona Costera en Guatemala

2.8.1. Zona costera de Guatemala

Teniendo esta zona una gran importancia para el comercio y el turismo algunos ejemplos de ello lo establece por ejemplo la Comisión Portuaria Nacional, el movimiento del comercio exterior (i/ e) para el periodo 2004 al 2007 ocurrió principalmente a través los puertos marítimos (77.9-78.5% del volumen en TM) y 65.1-66.3% del valor CIF y FOB. Esto significa que durante ese período el valor de las importaciones realizadas a través de los puertos marítimos varió entre los 9.6 billones de USD\$ hasta 13.3 billones USD\$.

Respecto al turismo, la utilización de esta vía para el ingreso al país muestra una tendencia creciente sostenida. Guatemala ha experimentado un creciente arribo de cruceros, incrementándose el número de 17 en 2001 a 84 en 2007.

En lo que respecta al marco institucional gubernamental y privado que atiende zonas marino costeras se establece que en Guatemala cuenta con un marco regulatorio y de políticas para el manejo de la zona costero-marina, que involucra a unas 26 instituciones del Estado entre ministerios, secretarías, entidades autónomas y descentralizadas, entre las que destacan:

MARN, CONAP, INAB DIPESCA, MINDEF, DIGEMAR, OCRET, CECON USAC MUNICIPALIDADES, EMPORNAC, DIPRONA, ONGS, EMPRESARIOS, CAMARONERAS, INDUSTRIA AZUCARERA

En cuanto a la riqueza de las diversas formas de vida (Biodiversidad) de las Zona Costero Marinas se ha establecido y cuantificado que Cerca de 2000 especies de flora y fauna representan cerca del 20% de especies reportadas para el país. En ellos se encuentran el 100% de especies marinas y de estuarios de ictiofauna y que representa el 83% de la ictiofauna guatemalteca, Las aves reportadas para ambos litorales representan el 55% de la avifauna reportada para el país. 47% de las especies reportadas a nivel mundial de cetáceos y El 83% de las especies de tortugas marinas del mundo. En las acciones que impactan directamente en las zonas marino costeras deben considerarse sumamente importantes las actividades antropogénicas desarrolladas a lo largo de una cuenca hidrográfica , para el presente caso la del rio Paso Hondo, entendiéndose por Cuenca hidrográfica cuenca de drenaje al espacio delimitado por la unión de todas las cabeceras que forman el río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico formado así un sistema que tiene al final una descarga hacia el mar. En esa dinámica se establece que la cuenca tiene una alta incidencia en zonas marino-costeras, especialmente en el área caribe y pacifico para lo cual resulta imposible abstraer el análisis de los litorales costeros del enfoque de manejo de cuencas, se muestra que muchos de los problemas que llegan a las costas se “importan” del mal manejo de la cuenca media o alta. **Los problemas de sedimentación en los litorales costeros se deben al arrastre de suelos de las partes altas de la cuenca.** Sin embargo, acciones tendientes a consolidar áreas que protejan las cabeceras de cuencas para evitar este tipo de problemas no se han concretado. Si bien los datos de erosión y sedimentación para los litorales son mayores para el Pacífico, los efectos de la sedimentación son más sensibles en el Caribe. Esto es debido a que hay mayor impacto sobre las costas superficiales y los sistemas ecológicos. Por otro lado, análisis de la cobertura vegetal actual indican que la zona conocida como “boca costa” carece de remanentes boscosos de tamaño significativo que mitiguen o disminuyan los problemas de erosión y posterior sedimentación. Para mejorar buena parte del manejo de las zonas costeras debe vincularse los impactos negativos perceptibles en los litorales hacia las acciones tomadas cuenca arriba y demostrar que dichos impactos tienen efectos negativos no solamente desde el

punto de vista de conservación sino en términos sociales y traducidos a su vez en pérdidas de carácter económico. Emerton y Bos, (2004).

2.8.2. Zona Costera del Pacífico de Guatemala

La región pacífica en Guatemala cuenta con zonas de abundancia ecológica asociadas a la vida marina y costera. Uno de los principales elementos que constituyen esa abundancia son los ecosistemas de manglar. Es una asociación vegetal oligoespecífica formada por la agrupación de plantas hidrohaliófitas. Los mangles, son especies leñosas de gran productividad biótica, que crecen y se desarrollan en las zonas intermareales y terrenos anegados de los deltas y estuarios litorales y se localizan sobre suelos salinos, arenosos, fangosos, arcillosos, con poco oxígeno y a veces ácidos. Los manglares constituyen un ecosistema irremplazable y único, que alberga a una increíble biodiversidad por lo que se los considera como una de las cinco unidades ecológicas más productivas del mundo. Son ecosistemas muy variados en cuanto a su composición y estructura, marcando la transición entre mar y tierra. (Yañez-Arancibia, 1999) El asentamiento de centros poblados en zonas costeras y la proliferación de infraestructura turística provocan también la acumulación de residuos sólidos en reservorios no planificados por el gobierno municipal dentro de las zonas de manglar. Los reservorios de desechos sólidos provocan acumulación de material que en su mayoría no es degradable. De estos sobresalen los polímeros; está determinado que materiales como envases y cartones de leche Tetra Paks conteniendo polímero tienen una degradación de cinco años, el Nylon de 30 a 40 años, los vasos de poliestireno Styrofoam de hasta 100 años y los envases y paquetes plásticos hasta de 450 años. (J. Turrell, 2009) La presencia de materiales no degradables en las zonas de mangle propicia que el mismo disminuya su capacidad de renovación, saneamiento y vitalidad. En materia pesquera, las redes de pesca son deterioradas al trabarse en los materiales depositados en el fondo del estuario o a orillas del manglar, impidiendo que se puedan capturar las especies, además de dificultar el natural transporte de materiales por acción de las mareas hacia el mar abierto. Es conocida la mortandad de especies mayores como aves, peces, mamíferos y tortugas marinas al consumir equivocadamente los plásticos en sus recorridos. Los efectos sociales de este fenómeno se determinan en el detrimento de la calidad de vida de los pobladores asentados en estas áreas. (FUNDAECO, 2002; Guerrero, Keizer de, & Córdoba, 2006; Ruiz, 2007).

2.8.3. Los manglares en la zona costera y su distribución geográfica de los manglares en el mundo

Jiménez, Barth y FAO citados por (Morales De La Cruz, 2000) indican que la composición vegetal del manglar es una mezcla sin distinción de árboles, helechos y lianas adaptadas al ambiente del manglar, el cual por presentar condiciones peculiares limita la abundancia de especies. En el continente americano, la formación de manglares está compuesta por cinco géneros principales y sus especies respectivas: *Rizophora* (con tres especies), *Avicennia* (con cuatro especies), *Laguncularia* (con una especie), *Conocarpus* (con una especie) y *Pelliceria* (con una especie). (Morales De La Cruz, 2000).

La distribución geográfica mundial de los manglares, como indican FAO y Pannier & Pannier citado por (Morales De La Cruz, 2000), está enmarcada por la faja climática comprendida entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio, es decir, que esta distribución general corresponde a la de los bosques tropicales, pero extendiéndose más hacia el Norte y el Sur del Ecuador, y, a veces, más allá de los trópicos, aunque de forma reducida; este desplazamiento del área de trópicos se ha atribuido a la incidencia de las corrientes oceánicas sobre el clima costero continental.

2.8.4. La flora de los manglares de Pacífico Centroamericano

(Jiménez J. A., 1994) Describe que está compuesta principalmente por árboles del género *Rhizophora* (Rhizophoraceae). Se ha reportado la existencia de *R. mangle* L., *R. racemosa* G.FW. Meyer y *R. harrisonii*; del género *Avicennia* (Avicenniaceae) se tiene presencia de *A. bicolor* que domina en áreas de estación seca con alta escorrentía, y por *A. germinans* que es más abundante en áreas de suelos con alta salinidad. *Laguncularia racemosa* Gaertn y *Conocarpus erecta* L. (Combretaceae) están presentes en la mayoría de los sitios, aunque no en forma abundante.

2.8.5. Ecología de los manglares

Según Blasco citado por (Morales De La Cruz, 2000) la amplitud ecológica de las especies de mangle es fascinante y a menudo desconcertante. Hasta hace poco, ha sido dificultoso o imposible el determinar con certeza el clima, factores edáficos e hídricos, principalmente porque estos factores son usualmente interdependientes. Es, sin embargo, bien sabido que el

mejor desarrollo del mangle se da en estuarios (desembocaduras de ríos) tropicales que reciben gran cantidad de lluvia uniformemente distribuida a lo largo del año, donde lo árido es un factor limitante en muchas regiones del mundo.

2.8.6. Vegetación de los manglares

(UNA, 1994) hace referencia a que, gracias a un proceso de evolución convergente, las especies vegetales de familias lejanamente relacionadas comparten el hábitat del manglar. Esta vegetación muestra diversos grados de adaptación al ambiente salino e inundado. Diversos tipos de raíces aéreas, estrategias reproductivas y adaptaciones fisiológicas se observan en la vegetación.

2.8.7. Zonificación del manglar

(Braun – Blanquet, 1950) pioneros en estudiar los manglares hace una zonificación e indican que es la disposición en fajas de las unidades de vegetación, ya sea en pequeña o gran escala, y causada por diferencias de los factores del hábitat: temperatura, humedad del suelo, contenido en sales o nitrógeno, duración de la cubierta de nieve, viento, etc.

Blasco citado por (Morales De La Cruz, 2000), respecto a la zonación y sucesión de las vegetación en un ecosistema de mangle, indica que en general se acepta que esto se debe a un conjunto complejo de factores locales donde las hidrología y el clima son dominantes, particularmente por que la habilidad competitiva de cada especie se relaciona con sus requerimientos climáticos, además, considera que la lluvia generalmente condición la distribución y zonificación del mangle a los largo de muchas costas no montañosas.

2.8.8. Cambios estructurales y funcionales de manglares en centro américa

Los manglares de la costa Pacífica de Centro América cubren un área aproximada de 320,000 has. La mayor concentración de área es encontrada en el litoral Pacífico de Panamá (aprox. 165,000 ha) y la menor en Guatemala (aprox.16,000 ha). Estas comunidades muestran diferencias sustanciales en su estructura y funcionamiento de acuerdo al sitio, obedeciendo a un gran número de factores y procesos ambientales.

2.8.9. Aspectos Económicos en la zona de influencia de la cuenca río Paso Hondo en la costa del Pacífico.

Los sectores económicos evaluados en la zona de influencia de la cuenca Paso Hondo están enmarcados en las áreas de Reserva de Usos Múltiples Monterrico, Zona del Canal de Chiquimulilla y Hawái derivados de su importancia para la Población y economía del lugar son el turismo, la pesca artesanal y de subsistencia y la camaronicultura, que de forma semejante al turismo se suman al uso intensivo del agua y a la contaminación del canal, descargando, para sus efluentes y extrayendo agua dulce para sus procesos de recambio necesarios en la producción de camarón. Para el caso de la pesca artesanal o de subsistencia, revelaron en primera instancia el crecimiento del esfuerzo pesquero. Al revisar números totales para la RNUMM el aumento entre 1999 y 2004 fue del 4% En pescadores y 3% en el número de embarcaciones. Mientras que entre el 2004 y 2015 es mayor, solo el número de pescadores se incrementó en 89, mientras que las embarcaciones lo hicieron en 102. Al considerar la evolución de la producción según el censo 1999, cada embarcación capturaba 72 Libras por cada jornada de seis horas, la Investigación de FAO en el 2004 da cuenta que la captura Se Incrementó A 85 Lbs. Por Día (6 horas) y de acuerdo con trabajo de campo en el 2015 la Captura ha estado en decadencia a un ritmo sin precedentes (50%) en cada quinquenio, 2010 y 2015 llegando a estar entre 15 y 35 Lbs. por embarcación.

3. OBJETIVOS

3.1. General:

Estimar la erosión hídrica utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo, vinculando a sus efectos en las áreas de influencia marino-costera en la cuenca Paso Hondo.

3.2. Específicos:

3.2.1. Caracterizar las variables intrínsecas y externas biofísicas: fisiografía, geología, drenajes superficiales, biológicos y antropogénicas principales, de la cuenca río Paso Hondo, utilizando las herramientas de análisis geoespacial SIG.

3.2.2. Modelar la erosión hídrica por medio de ecuación universal USLE utilizando un Sistema de Información Geográfico identificado las zonas críticas.

3.2.3. Determinar la erosión hídrica en la cuenca Paso Hondo, ubicando y mapeando las áreas críticas vinculando a sus efectos en las áreas de influencia marino-costera.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Dimensión espacial del área de la cuenca río Paso Hondo

Se realizó ubicación espacial para la Cuenca del río Paso Hondo, que es una delimitación de la corriente hídrica que se localiza en el municipio de Taxisco, Departamento de Santa Rosa, Guatemala. El río Paso Hondo nace en las faldas del Volcán Tecuamburro en el departamento de Santa Rosa. Los límites de la cuenca hidrográfica se encuentran entre los municipios de Pueblo Nuevo viñas, Taxisco, Guazacapan, Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa. Su trayecto es en dirección Sur, atravesando la planicie costera para desembocar en el Océano Pacífico. Su cuenca abarca una población de 80,550 habitantes aproximadamente. Esta cuenca se ha desarrollado como una de las más importantes fuentes en el departamento, teniendo un área de 720.44 km² una longitud de 55.2 kilómetros. Sus coordenadas geográficas son las siguientes: Latitud: 13.9894444 Longitud: -90.4811111 (Figura 3).

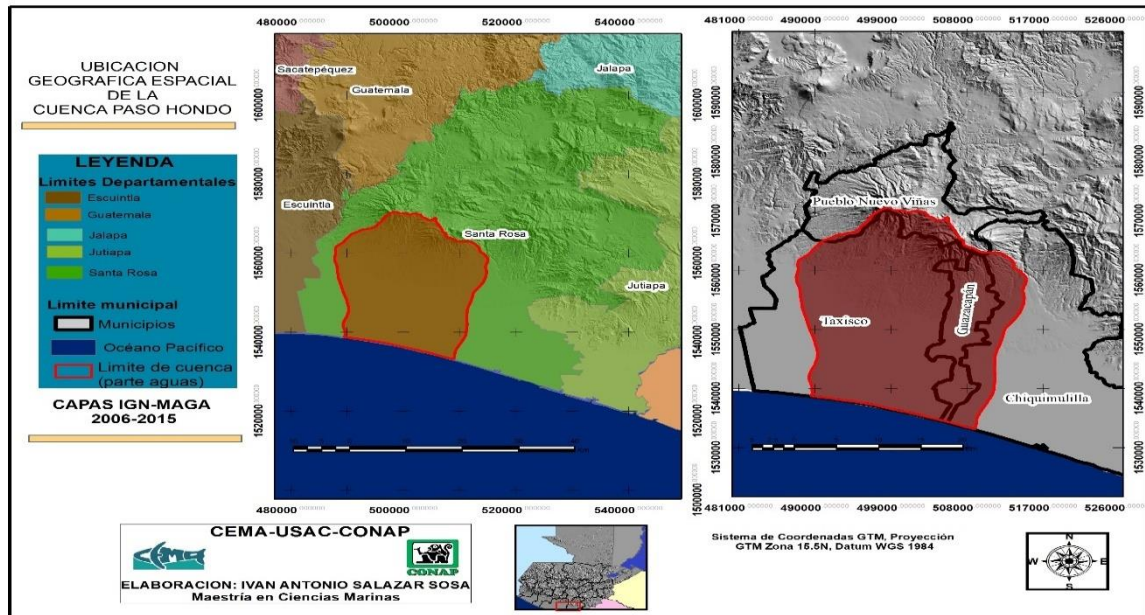


Figura 3 Ubicación del Área de Estudio límites de la cuenca del río Paso Hondo a nivel departamental y municipal

4.2.Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativo y cualitativo, descriptivo, explicativo y aplicativo, el trabajo de investigación, se centra en utilizar una herramienta de fácil aplicación para realizar una análisis de la funcionalidad de las cuencas y la vinculación a los efectos en las zonas marino costeras, que nos permita desarrollar las directrices de protección del recurso hídrico, ordenación de recursos naturales, ordenamiento territorial, con el fin principal de mejorar o fortalecer el nivel y calidad de las presentes y futuras generaciones como una estrategia ante el cambio climático.

4.3.Técnicas e instrumentos

4.3.1. Fase I. Recopilación de datos:

Se utilizaron los distintos shapes y capas de aspectos biofísicos compartidos del MAGA, IGN,INAB,INSIVUMEH con la base de datos de la Dirección de Análisis Geoespacial y a su vez compartida con la Dirección del Departamento de Planificación Estudios y Proyectos de la Secretaria Ejecutiva del Consejo Nacional de Áreas Protegidas, aplicando técnicas geoespaciales de sobre posición e interpretación de capas, para comprender la dinámica de la funcionalidad en la cuenca del rio Paso Hondo y describir el la dinámica de la cuenca , utilizando la metodología del análisis geoespacial como una herramienta de aplicación para el enfoque de manejo integral en dicha cuenca.

- Capa o shape de geomorfología y fisiografía Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.
- Capa o shape de Cobertura boscosa y áreas de recarga hídrica del instituto nacional de Bosques Inab 2006.
- Capa de serie de suelos Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.
- Capa de geología Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.
- Capa de cobertura vegetal Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.

- Capa de cobertura y uso de la tierra 2013 Grupo interinstitucional GIMBUT INAB, CONAP, MAGA, UVG
- Capa de zonas de vida Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.
- Capa ráster de la fisiografía de terreno hill15, 20 y hill 50 Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015
- Capa ráster de fisiografía dem20 y dem20 Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.
- Capa ráster y vector de cuencas hidrográficas de la república de Guatemala Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.
- Ortofotos año 2006 Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Agricultura ganadería y alimentación 2006 y sus actualizaciones del servidor de SEGEPLAN 2015.
- Capa Ráster Isoyetas del Insivumeh 2014

4.3.2. Fase II. Procesamiento de los datos

Identificación de variables biofísicas del territorio

Se realiza la selección de los factores que pudiesen brindar la mejor información de las condiciones biofísicas del territorio y las potencialidades de sus recursos por medio de las bases de datos de capas o shapes del CONAP, generados por el instituto geográfico Nacional, el Instituto Nacional de Bosques y las ortofotos del año 2006, Las capas de uso de la tierra generadas por el Grupo Interinstitucional Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra GINBUT 2012 para lo cual se generaron mapas escala 1:500,000 y escala 1:250,000.

Identificación y jerarquización de los aspectos variables de importancia ambiental

Utilizando una matriz importancia ambiental, se identifican las principales variables biofísicas que son de importancia ambiental en el área (Cobertura Vegetal, Fisiografía, Serie o tipo de suelo) (Tabla 2)

Tabla 2. Variables de importancia ambiental

Variables de Importancia en el ambiente	Valor asignado
Delimitación y ubicación dentro de cuenca, sub cuenca, microcuenca	1
Red de corrientes hídricas	2
Cauce principal	3
Cobertura vegetal	4
Clasificación de suelos	5
geología	6
Sistema de áreas protegidas	7
Pendiente del cauce principal	8
Alturas o altitudes	9

Identificación y jerarquización de factores de vulnerabilidad

Se plantea una matriz en la cual se asignará una valoración o ponderación con base al riesgo de amenaza y vulnerabilidad de aspectos biofísicos en el área. (Pendiente, ubicación dentro de parte de cuenca, área desprovista de cobertura vegetal) (Tabla 3)

Tabla 3. Matriz de identificación de variables y vulnerabilidad a impactos

Variables de Importancia en el ambiente	Vrs.	Vulnerabilidad el área
cobertura vegetal		Pendientes a lo largo de toda la cuenca
red de corriente hídrica		Vulnerabilidad de Erosión
cauce principal		Vulnerabilidad a pérdida de recarga hídrica
Clasificación de suelos		Vulnerabilidad movimiento de tierra
geología		vulnerabilidad remoción cobertura vegetal
Sistema de áreas protegidas		centros de poblados
Pendiente del cauce principal		zonas de cultivo
Porcentaje de los rangos de pendientes en toda la microcuenca		Áreas escarpadas y desprovistas de cubierta vegetal
Alturas o altitudes		

Fuente: con base a la caracterización biofísica de la cuenca. Modificada de la tabla de información sobre peligros naturales a ser usada en un SIG de la OEA.

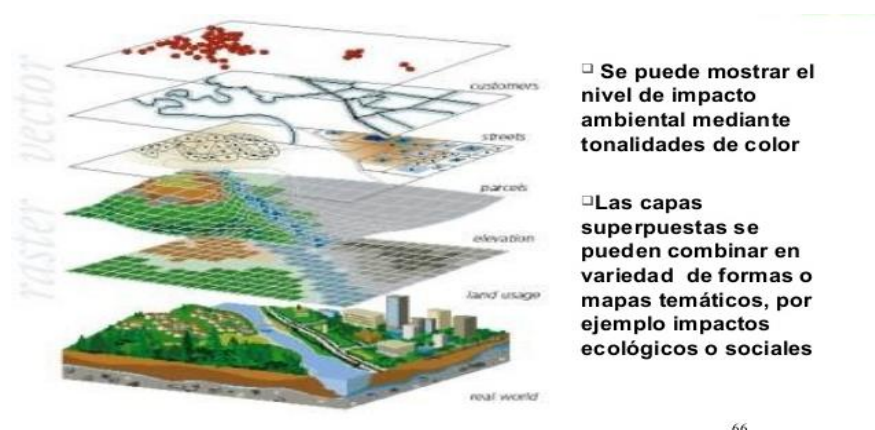
Sobreposición de capas de los aspectos biofísicos

Con el fin de identificar las áreas de las variables que están sujetas a ser impactadas se realizara una sobre posición de capas para generar un mapa de variables de importancia ambiental que podrían estar sujetos a posibles impactos.

Posteriormente en los meses de enero 2017 a diciembre 2017 se realizó el reconocimiento e identificación de algunos de estos aspectos en campo, como lo son:

- Puntos críticos (áreas deforestadas, población, infraestructura vial, puntos de basura)
- Elevaciones o alturas
- Pendientes
- Cuerpos de Agua incluyendo ríos
- Suelos
- Áreas de humedales y manglar
- Áreas desprovistas de cobertura vegetal

así como la identificación de posibles impactos y sus medidas de mitigación más adecuadas, vinculados a matrices de evaluación propuestas (Figura 4)



66

Figura 4 Identificación de impactos por medio de sobreposición de capas

Diagrama del Proceso

Se describe por medio de un diagrama el proceso para sobreposición de capas y generación de mapas (figura 5).

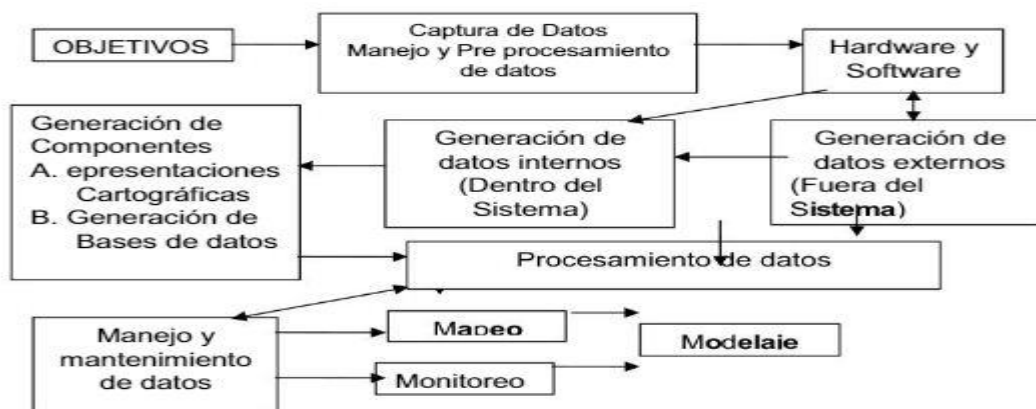


Figura 5 Componentes de un Sistema de Información Geográfica para generación de mapas temáticos y análisis geoespacial

Recopilación y análisis de información para modelar Erosión Hídrica

En la presente investigación se planteó la utilización de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (-USLE-), (Wischmeier & Smith, 1978). La USLE considera los siguientes factores: erosividad de la lluvia factor (L), erodabilidad del suelo factor (K), factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS), cobertura del suelo factor (C) y prácticas de conservación de suelos factor

(P). El factor de erosividad de la lluvia se estimó por medio de la ecuación propuesta por Lombardi Neto and Moldenhauer (1992), la cual toma la información del índice modificado de Fournier Arnoldus et al. 1980). Para la estimación de dicho índice se usó los ráster de Isoyetas que representan lluvia mensual y anual de la República de Guatemala facilitados por el Instituto de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología, (-INSIVUMEH-), 2014. El factor K se calculó por medio de la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), & UNEP (1980) El factor LR se estimó utilizando el modelo de elevación digital (-DEM-), generado por el MAGA para la República de Guatemala, se aplicó la metodología propuesta por Desmet & Govers, (1996), citado por Velásquez (2008). La cobertura del terreno: factor (C) se realizó con base al mapa de cobertura y uso de la tierra del MAGA (2006), en el cual se tiene la cobertura actualizada al año 2003. Los factores por

emplear son los propuestos por Lianes et al. (2009), en un estudio realizado en la cuenca del río Birrís en Costa Rica.

Modelar la erosión utilizando la ecuación universal de la pérdida de suelo y comparación con el límite permisible de pérdida de suelo

Se modeló la erosión hídrica usando SIG, aplicando la herramienta de álgebra de mapas del Software ArcGIS (ESRI, 2012). La modelación consistió en primera instancia en generar en formato ráster cada uno de los factores que emplea la USLE. Posteriormente, utilizando la misma herramienta, se procedió a aplicar la ecuación (USLE), finalmente se obtuvo un mapa en formato ráster con los valores de erosión a nivel de celdas. El mapa resultante se clasificó para una mejor interpretación de los resultados de acuerdo con los criterios convencionales de clasificación de los tipos de erosión.

Estimación de la Erosión Hídrica por medio la ecuación USLE utilizando SIG

Para estimar la pérdida de suelo y cumplir con el objetivo de la investigación se usó la ecuación universal de pérdidas de suelo (Wischmeier & Smith, 1978) USLE, la cual fue desarrollada con el propósito de estimar la pérdida de suelo promedio anual, usando una relación de factores expresados en la siguiente ecuación:

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

Donde:

- A = pérdida de suelo por unidad de superficie y tiempo, expresado en (T*ha-1* año-1)
- R = factor de erosividad de la lluvia (MJ*mm*ha-1*h-1*año-1)
- K = factor de erodabilidad del suelo [(Mg*ha-1) * (MJ*mm*ha-1*h-1)]
- LS = factor de longitud y pendiente del terreno (adimensional)
- C = factor de cobertura (adimensional)
- P = prácticas de conservación del suelo (adimensional)

La USLE ha sido ampliamente utilizada en muchas regiones del mundo, incluyendo América Latina y en Guatemala, también se ha utilizado. Algunos de los estudios realizados en Guatemala, en donde se ha empleado la USLE, son los siguientes: Arana (1992), Motta, (1999), Argueta (2010), Meléndez (2011), Gonzalez (1,994), citado por Tobías (2013) este último como parte de su tesis doctoral.

Los factores que conforman la USLE, para la cuenca del río Paso Hondo fueron estimados de la forma siguiente:

Factor R

Es uno de los factores más importantes que determina el poder de la erosividad de la lluvia y se expresa el promedio anual de la energía y la intensidad de la lluvia, para su cálculo se requiere análisis de intensidades de lluvia y contar con registros de información pluviométrica, en el caso de la presente investigación se utilizó la capa ráster de Isoyetas del proporcionada por INSIVUMEH Y MAGA 2014.

Factor K

El factor K es el factor de erodabilidad del suelo que representa tanto la susceptibilidad del suelo a la erosión como la tasa de escorrentía, medida bajo las condiciones de una parcela estándar unitaria. Los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K, de cerca de 0.05 a 0.15, por su resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. Suelos con texturas gruesas, como los suelos arenosos, tienen bajos valores de cerca de 0.05 a 0.2, ya que la baja escorrentía, aunque estos suelos son fácilmente erodables. Suelos con texturas medias como los francos, tienen un valor moderado de K, de cerca de 0.25 a 0.4 ya que son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen una escorrentía moderada. Suelos que contienen un alto contenido de limo son los más erodables. Son fácilmente desprendibles, tienden a formar una costra y producir altas tasas de escorrentía. Los valores de K de estos suelos tienden a ser mayores que 0.4. La materia orgánica reduce la erodabilidad porque reduce la susceptibilidad del suelo al desprendimiento e incrementa la infiltración, lo cual reduce la escorrentía y por lo tanto la erosión. La adición o acumulación de materia orgánica a través del manejo como la incorporación de abonos verdes o estiércol se representa en el factor C, más que en el factor K. La extrapolación del factor K en el nomógrafo más allá de un contenido de

4% no se recomienda o se permite en la USLE, el factor K considera que el suelo como un todo y el factor Kf considera solamente la fracción fina o sea la materia de menos de 2 mm de diámetro. Para la mayor parte de los suelos Kf = K. Aunque el factor K se seleccionó para representar un suelo en su condición natural, el manejo pasado o el mal uso de un suelo por cultivos intensivos pueden incrementar la erodabilidad del suelo.

El factor de erodabilidad del suelo se calcula con la ecuación del nomograma de Wischmeier citado por Mannaerts (1999)

$$K = (1/7.594) * [(2.1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25(s-2) + 2.5(p-3)] / 100$$

K = Factor de erodabilidad del suelo

(t*acre*hr/100*acre.pie*tf*pulg) OM = Materia orgánica [%]

S = Código de la
estructura del suelo

P = Código de
permeabilidad

M = Producto de las fracciones del tamaño de las partículas
primarias ó (% limo + % arena muy fina) *(100 - % arcilla) (Figura 6)

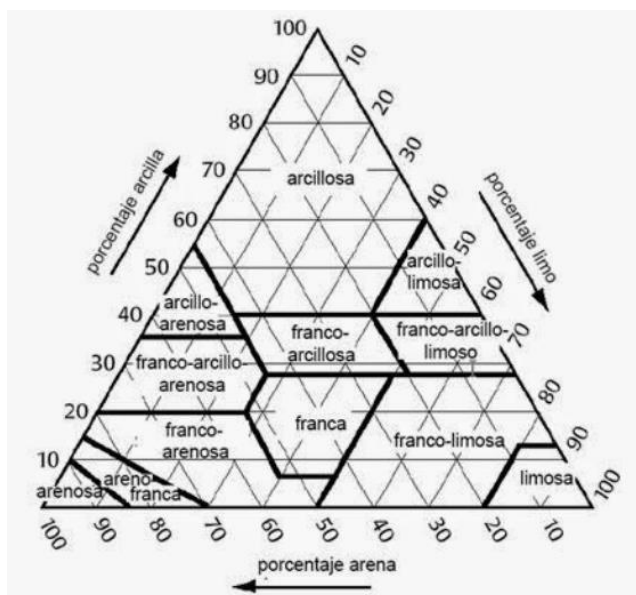


Figura 6 Nomograma para la determinación de la textura del suelo.

si no se cuenta con información de suelos, se puede calcular el valor de K basados en el tipo de roca formadora del suelo utilizando el shape de geología (litofacies) (Tabla 4).

Tabla 4 Tipo de roca formadora de sustrato para cálculo de rango K

Tipos de roca formadoras del sustrato superficial o litofacies	Rango del factor K (máx.-mín.)
Rocas correspondientes al estrato cristalino (granito, gneis..) y roca basáltica	0.005-0.15
Rocas silíceas, compactas (metamórficas, areniscas duras, cuarcitas,..)	0.10-0.25
Rocas sedimentarias bien consolidadas (calizas duras, dolomías, calcarenitas,...)	0.20-0.40
Rocas sedimentarias blandas (margas, yesos, formaciones flysh, calizas poco consolidadas, areniscas disgregables)	0.40-0.60
Rocas cuaternarias (depósitos recientes)	0.40-1.00

Factor L

L es el factor de longitud de la pendiente que representa el efecto de la longitud de la pendiente en la erosión (adimensional). Es la razón entre la pérdida de suelo en la longitud de pendiente en campo con respecto a la longitud de una parcela de 22.1 m en el mismo tipo de suelo y gradiente. La longitud d de la pendiente es la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo a la localidad donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido. Afortunadamente, los valores de pérdida de suelo no son especialmente sensitivos a la longitud de la pendiente y las diferencias en longitud de $\pm 10\%$ no son importantes en la mayoría de las pendientes, especialmente en paisajes planos.

Factor S

S es el grado de inclinación de la pendiente. Representa los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. Se define como el cociente de la pérdida de suelo en el campo entre la que ocurre en una parcela de 9% de inclinación bajo

idénticas condiciones. La relación entre la pérdida del suelo y la gradiente se ve influenciada por la densidad de la cobertura vegetal y el tamaño de las partículas del suelo.

generalmente, el factor L y S se consideran juntos.

Factor LS

El cálculo del factor de la longitud y gradiente de la pendiente ha sido uno de los más complicados de estimar para áreas a nivel de cuenca, ya que la USLE, fue desarrollada a nivel de parcelas. Con la ayuda de los sistemas de información geográfica y los modelos digitales de terreno DEM, es factible modelar esta información a nivel de celdas y, por consiguiente, obtener información que sin la ayuda de estas herramientas sería muy difícil de cuantificar. Se utilizó el DEM de país, el cual tiene una resolución 15 metros por píxel (MAGA, 2007). Para la estimación de este parámetro se siguió la metodología propuesta por Desmet & Govers (1996), citado por Velásquez (2008), empleando las ecuaciones siguientes:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad m = \frac{F}{(1+F)} \quad F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3 (\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.13)^m}$$

Donde:

- A (i, j) [m] = área aportadora unitaria de un píxel (celda)
- D = tamaño del píxel
- X = factor de corrección

El factor S: el ángulo β se toma como el ángulo medio en la dirección de mayor pendiente

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases}$$

Factor C

Representa los efectos de las plantas, la cobertura de suelo, la biomasa del suelo y las actividades disturbadoras del suelo en los procesos de erosión. Para la utilización de los valores de C se utilizó la información generada por Lianes et al. (2009), Utilizando las capas de serie de suelos y las capas de uso actual, el factor C se basa en el concepto de la desviación en relación

a un estándar, en este caso un área limpia de cultivos y en barbecho continuo. La tasa de pérdida de suelo (SLR) es entonces un estimado de la tasa de pérdida de suelo en las condiciones actuales en relación con aquella que se experimentaría bajo las condiciones de referencia. Cuando se aplica esta fórmula en el Ráster Calculator de ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0.01745 radianes) (Tabla 5)

Tabla 5 Datos para calcular en ráster el Factor C:

CULTIVO Y PRACTICA	Media anual del Factor C
Suelo Desnudo	1.0
Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de mulch	0.001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Sabana o pradera herbácea sobrepastada	0.1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional	0.20-0.55
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional	0.50-0.90
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0.02-0.10
Maíz, sorgo o mijo: al rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0.30-0.45
Algodón	0.40-0.70
Pradera Herbácea	0.01-0.025
Soja	0.20-0.50
Trigo	0.10-0.40
Arroz	0.10-0.20
Cacahuete	0.30-0.80
Palmera, cafeto, cocotero, con cobertura vegetal	0.10-0.30
Piña cultivada a nivel, con retirada de residuos	0.10-0.40
Piña cultivada a nivel, con residuos en superficie	0.01
Patata, surcos según la pendiente	0.20-0.50
Patata, surcos transversales a la pendiente	0.10-0.40
Caupí, (judía de vaca)	0.30-0.40
Fresa con cobertura de malas hierbas	0.27
Granado con cobertura de malas hierbas	0.08
Granado limpio de malas hierbas	0.56
Tef (Eragrostis tef)	0.25
Caña de azúcar	0.13-0.40
Ñame	0.40-0.50
Guisante de Angola	0.60-0.70
Judía mungo	0.04
Pimiento	0.33
Cafeto: después de la primera recolección	0.05
Plátano: después de su establecimiento	0.05-0.10
Papaya	0.21

Fuente: modificado de Wichmeier y Smith (1989) Rose (1977) Sing, Babu y Chandra (1981)

En el caso de C y P puede utilizarse también el siguiente cuadro a considerar en el ráster (Tabla 6).

Tabla 6 Tipo de cobertura para calcular factor C y P

Tipo de cobertura	Factor C	Factor P
Area urbana	0.1	1
Suelo desnudo	0.35	1
Bosque denso	0.001	1
Bosque Ralo	0.01	1
Bosque Mezclado	0.1	0.8
Cultivos	0.5	0.5
Cultivos de Inundaci	0.1	0.5
Pastura densa	0.08	1
Pastura rala	0.2	1
Pastura con cultivos	0.25	0.8
Humedales	0.05	1
Cuerpos de agua	0.1	1

Fuente: tomado y modificado de tabla citada por Jung et al (sf)

Resumen del proceso

Fill: Llenado de huecos del DEM (Fill the sinks) Esta función llena los huecos presentes en la malla (o grid). Si celdas con mayor elevación rodean a una celda, el agua es atrapada en esa celda y no puede fluir. La función Fill modifica el valor de la elevación para eliminar este problema.

Pendiente: se calcula la pendiente en grados a partir del DEM utilizando modelo de elevación digital.

Flow: Dirección de Flujos calcular ahora el grid de dirección de flujo.

Flow acumulación: Acumulación de flujo

Factor L se procedió a calcular el valor de “L” Algebra-Ráster Calculator

Factor S se calculó el valor del factor S. Ya que la fórmula varía de acuerdo con dos condiciones, se utilizará el comando CON que es la función Condicional de ArcGIS.

Factor LS combinado ráster calculator "factor_L" * "factor_s"

A= $K \times R \times L \times S \times C \times P$ (p) no se utilizará demasiado en función de las prácticas de conservación de suelos

Vinculación de efectos en zona de influencia marino-costera:

Generación de mapa de variables de importancia ambiental

Utilizando la propuesta de una matriz de importancia de variables y los rangos asignados de importancia se procederá a la sobre posición de capas en el orden dado para generar los mapas de variables de importancia ambiental están sujetas a impactos ambientales en el área de influencia de la cuenca a zonas marino-costeras.

Identificación de impactos ambientales

Con la matriz de identificación de importancia ambiental y la matriz de amenazas se identifican los posibles impactos ambientales que se generaran a lo largo de toda la cuenca y se generara un mapa de identificación.

Análisis espacial o mapeo de elementos y amenazas de la zona costera

Este análisis permitió interrelacionar las variables en un espacio dado, para verificar el grado de la amenaza sobre un ecosistema y sus especies asociadas. Para este fin se analizaron las capas temáticas de información sobre el tipo, ubicación y cantidad de amenazas, ecosistemas de manglar y especies de mangle, realizando un sobre posicionamiento de estas capas. Lo cual dio como resultado un juego de mapas que permiten tener un escenario cartográfico real de dinámica en la cuenca del río Paso Hondo y dentro de sus límites el componente de la diversidad costera y sus amenazas como base para evaluar la sostenibilidad de la calidad ambiental de la Costa Este del Pacífico de Guatemala (Figura 7).

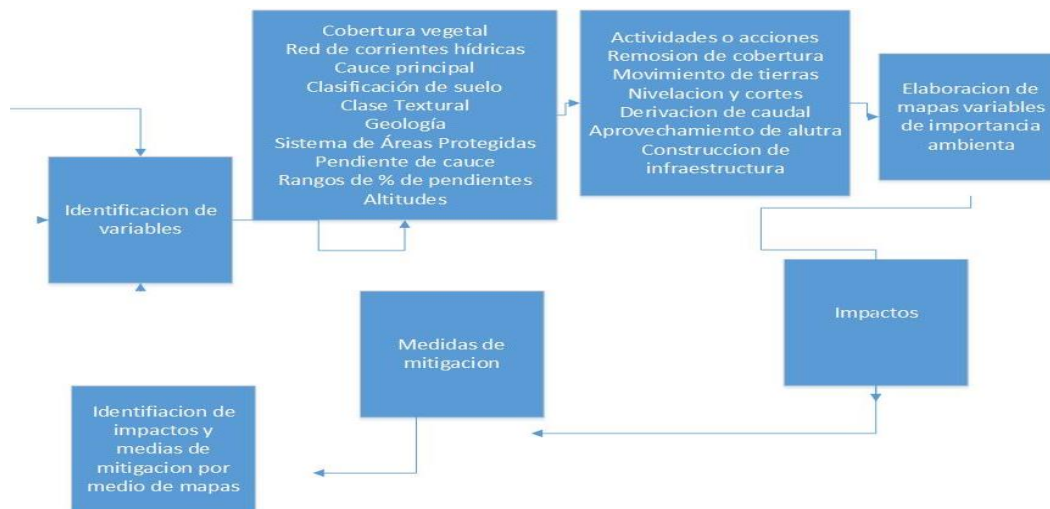


Figura 7 Diagrama de flujo para obtención de mapas a partir de capas o shape con datos espaciales.

Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Variables

Principales variables identificadas y utilizadas en el presente trabajo de graduación, basada directamente en lo cualitativo y cuantitativo.

Cuantitativas

- Alturas en metros
- Pendientes en porcentaje
- Elevaciones en metros sobre el nivel del mar
- Coordenadas Geográficas, GTM.
- Medida de terreno (área)
- Pendientes (rangos en %)

Categóricas o cualitativas

- Aspectos biofísicos
- Geomorfología
- Fisiografía
- Topografía
- Drenaje superficial (tipo de drenaje: dendrítico, paralelo sub paralelo meandro)
- Serie de suelo
- Textura de suelo

- Uso actual
- Cobertura vegetal
- Vegetación
- Zonas de vidas
- Límite de cuencas parte baja, media y alta

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis y mapas con descripción y caracterización de variables intrínsecas biofísicas en la cuenca río Paso Hondo

5.1.1. Descripción de la Fisiografía

Después de haber utilizado las capas o shapes recopilado se procedió a realizar los respectivos mapas específicos para la cuenca Paso Hondo, iniciando con el de fisiografía en el cual se describe que para Guatemala se distinguen cuatro provincias fisiográficas que de sur a norte son: a) La planicie costera del Pacífico b) La provincia volcánica c) La cordillera central y d) Las tierras bajas del Petén. Para el caso del área de estudio pertenece a la denominada, **La planicie costera del Pacífico** de unos cincuenta kilómetros de ancho ha sido formada a lo largo del litoral del Pacífico por los productos de erosión de las tierras altas volcánicas. arenas, gravas, pómez y depósitos lávicos de espesor desconocido, gradúan imperceptiblemente hacia las tierras volcánicas de las tierras altas. Debido al tremendo volumen de detritus en abanicos fluviales coalescentes, y quizá a un posible hundimiento, el drenaje de las áreas costeras es deficiente. A lo largo de la playa se han concentrado arenas negras ricas en magnetita (Figura 8).

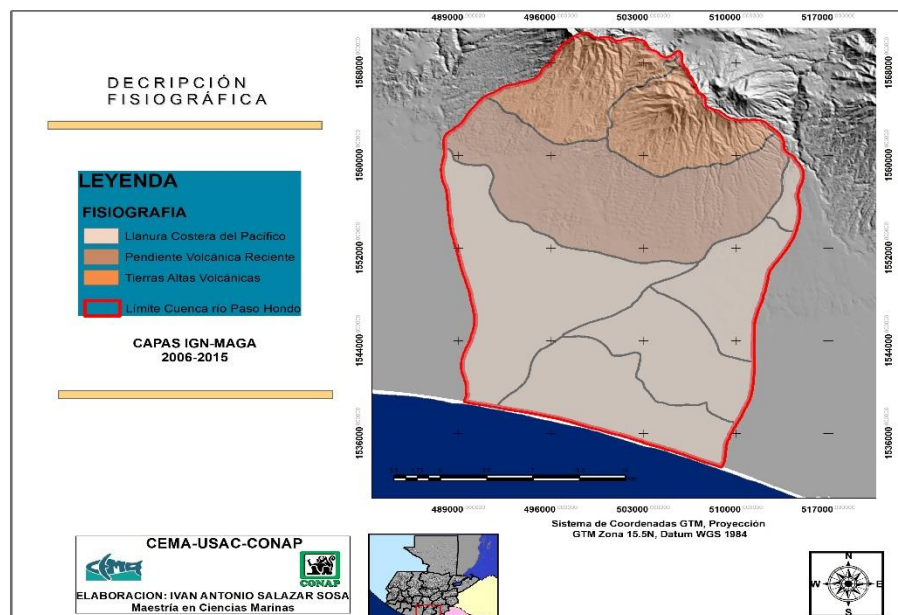


Figura 8 descripción Fisiográfica de la Cuenca río Paso Hondo

5.1.2. Composición de la Geología

La geología que se presenta en los límites de la cuenca corresponde dos periodos geológicos en específico el de Aluviones Cuaternarios, y el Cuaternario con presencia de la a la llanura aluvial que representa la sección distal de una coalescencia de abanicos aluviales, donde una serie de ríos que bajan de la cordillera volcánica, se encuentran alineados con respecto a las fallas volcánicas con orientación de Noreste a Suroeste. La topografía en conjunto es de plana a ligeramente ondulada, ocasionando a un paleo relieve correspondiente a tobas y a corriente de lodo en mayor o menor grado de meteorización (Figura 9).

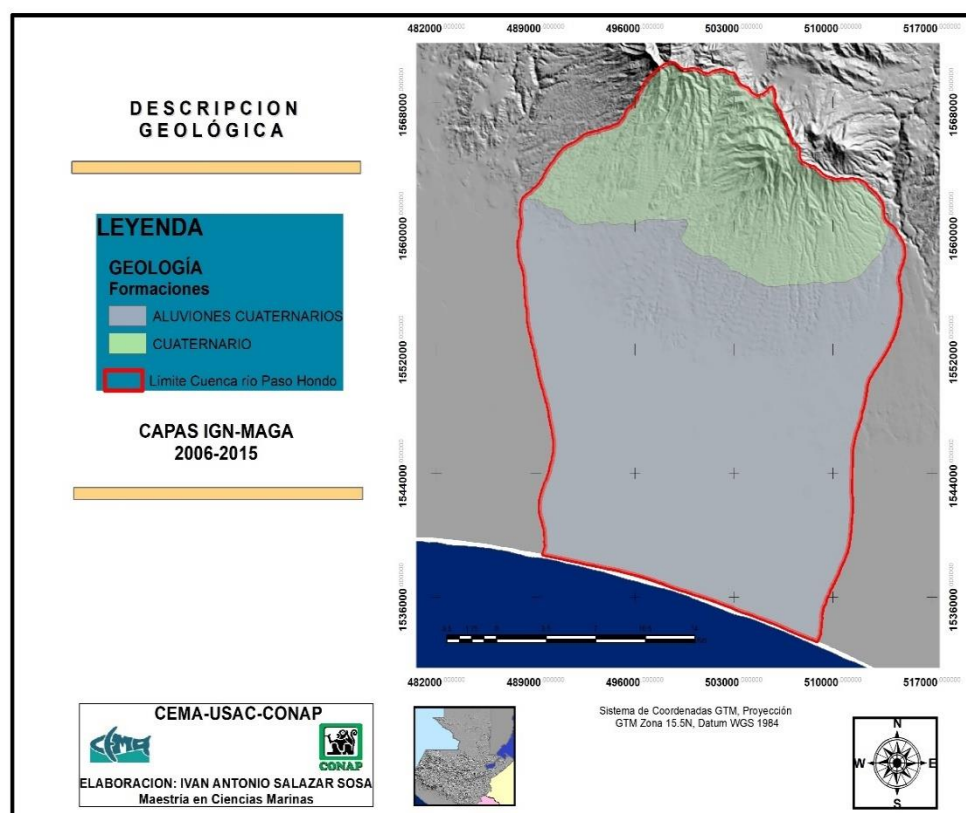


Figura 9 Geología en el área de estudio

5.1.3. Conformación de los Suelos

Se caracterizan por ser aluviones o cenizas volcánicas de relieve plano con un drenaje interno deficiente. Se han desarrollado sobre material fluvio-volcánico reciente a elevaciones bajas. (Atlas Nacional del Instituto Geográfico Nacional, 1974.) Estos suelos son de textura franco arenosas, francos, franco arcillosas y de color gris oscuro a café oscuro. Generalmente son drenados y muy profundos con una elevada composición de arcilla, casi siempre compacta y de poca aireación. Poseen gran cantidad de sodio debido a la influencia del agua de mar que los inunda periódicamente. A pesar de su alto contenido de arcilla, no poseen una estructura bien definida. La planicie está formada por aluviones cuaternarios, (Qa) material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la Plataforma Continental. Se presentan serie de suelos para la parte alta o montañosa Taxisco, Barberena, Moyuta y Taxisco, en las áreas medias Series Toltecate, Bucul, Tecojate Franco y Papaturro, en áreas de zona marino-costera y de manglar se presentan series Tecojate, Arenas de Playa de mar, presentando drenaje muy pobre a excesivo drenaje, con arena gruesa color negro (Figura 10)

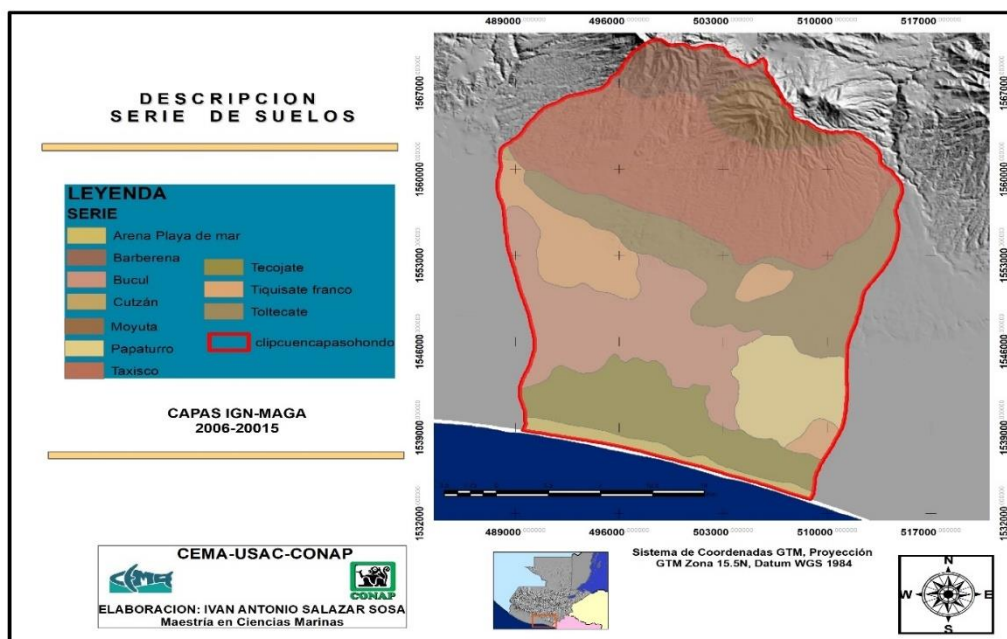


Figura 10 Serie de Suelos en el área de estudio

5.1.4. Distribución de las Zonas de Vida

Dentro de los límites de la cuenca del río Paso Hondo y el área de manglar que se encuentra dentro de esta, se tiene una influencia de un declive geológico que marca en un pequeño recorrido, la intervención de cuatro zonas de vida iniciándose en la parte alta en la zona de

Bosque húmedo subtropical , luego bosque muy húmedo sub tropical cálido , bosque húmedo subtropical templado hasta llegar Bosque seco sub tropical a la franja de manglares sobre suelos misceláneos de terreno directamente afectada por la fluctuación mareal (Figura 11).

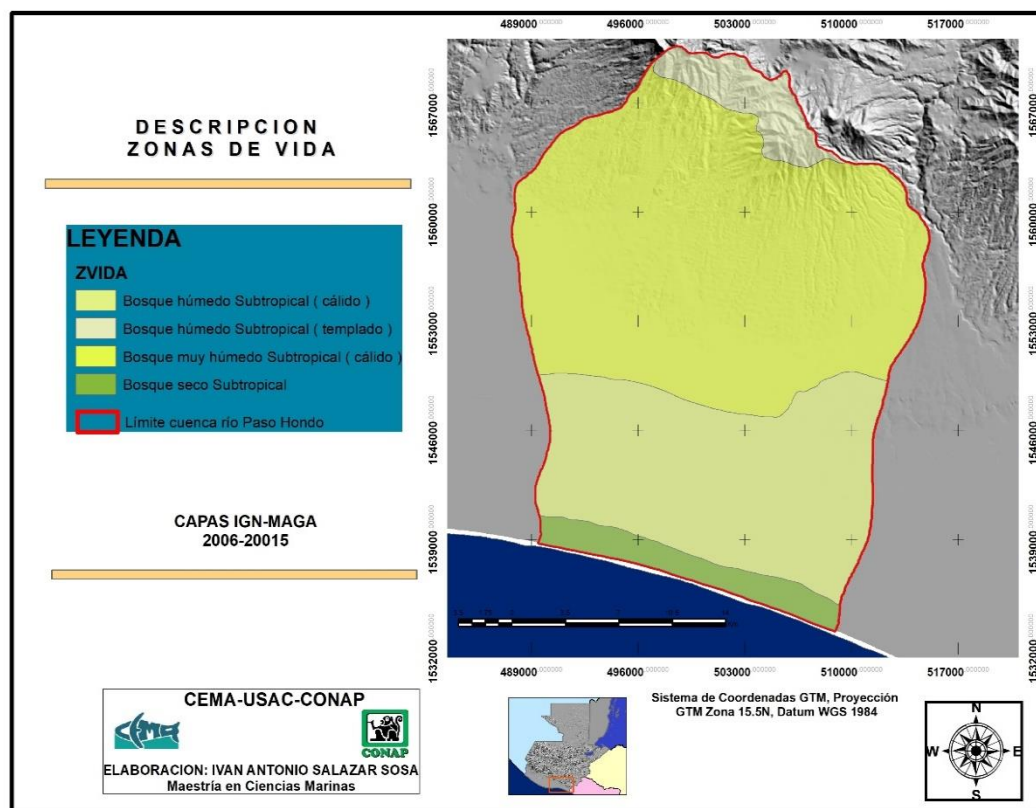


Figura 11 Zonas de Vida en área de estudio

5.1.5. Tipo de Vegetación

En la parte montañosa o alta de la cuenca se encuentran especies como Pino Colorado, Lengua de lija y encinos, asociados con áreas de cultivo cafetalero, en las partes aparente medias especies como corozo puntero y mulato son las más comunes en mayor distribución, quedando en las áreas de planicie y cercanas a la costa castaño, hormigo, palo de mora.

En el caso de las zonas marino-costeras se encuentran de acuerdo con Rodríguez (1981) y Castillo y colaboradores (2012), áreas con manglar que presenta comunidades dominadas por

Laguncularia racemosa (mangle blanco) y otras dominadas por ***Rhizophora mangle*** (mangle rojo).

La comunidad de mangle blanco está conformada por árboles en su estrato mayor, plantas epífitas y hierbas en sus estratos inferiores; son manglares donde la especie dominante es el mangle blanco (***Laguncularia racemosa***) y se acompaña de ***Rhizophora mangle*** y ***Avicennia germinans*** con menor presencia y cobertura ; en estas comunidades se conforman de pequeñas áreas donde se han formado suelos por la retención de sedimentos entre las raíces del mangle blanco; otras especies asociadas a este manglar, son arbustos como ***Coccoloba spp***, epífitas del género ***Tillandsia***, bejucos como ***Entada polystachia***, plantas parásitas como ***Struthanthus orbicularis***, plantas acuáticas como ***Typha sp.***, ***Neptunia prostrata***, ***Eichhornia crassipes***, ***Salvinia spp*** y otras asociadas a zonas inundables como ***Maranta arundinaceae***, ***Cyperus articulatus***.

La comunidad de mangle rojo está conformada por árboles con una altura máxima de 35m y una altura promedio de 12m; es una comunidad que presenta únicamente tres estratos, la especie que define la comunidad es el mangle rojo (***Rhizophora mangle***), otras especies dominantes son el mangle blanco (***Laguncularia racemosa***) y el zapotón o pumpo (***Pachira acuatica***);

También se ubican fragmentos del bosque seco detrás de la duna costera hasta el manglar, quedando fragmentos desde Madre Vieja hasta Monterrico. Castillo y colaboradores (2012) describen esta asociación de hasta cuatro estratos, compuesta por árboles, arbustos, lianas, otras plantas leñosas y hierbas. Bien representada por las especies ***Gliricidia sepium*** (madre cacao), ***Guazuma ulmifolia*** (guácimo o caulote), ***Jacquinia donnell-smithii*** (cojon o bijarro) y ***Pithecellobium dulce*** (guamúchil o jina). Otras especies presentes son: ***Bromelia pinguin***, ***Caesaria nítida***, ***Randia tetracantha*** (bejuco árbol de las cruces), ***Acacia hindsii***, ***Bursera simaruba***, ***Ceiba aesculifolia***, ***Celtis iguanaea***, ***Crescentia alata*** (Figura 12).

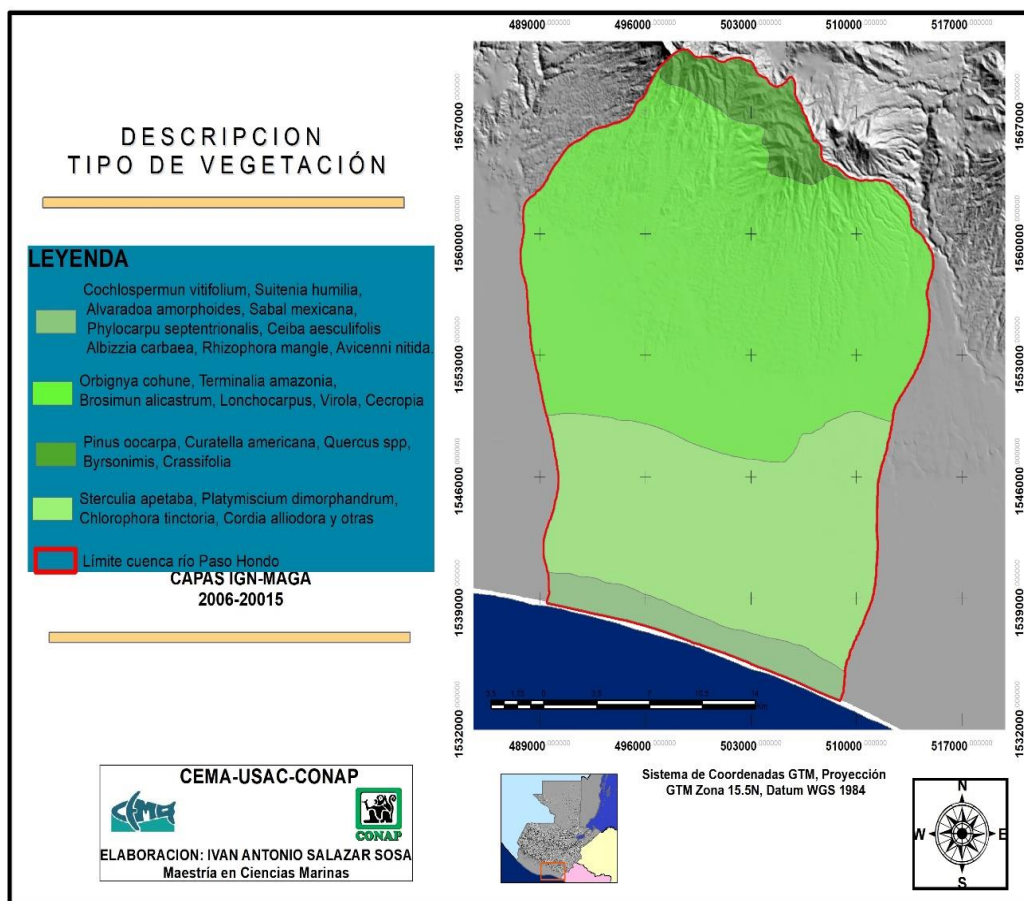


Figura 12 de Cobertura Vegetal

5.1.6. Red de corrientes de Drenajes y Corrientes Hídricas (ríos)

En los límites de la cuenca se encuentran varios drenajes, corrientes o ríos ya sea permanentes o intermitentes divididos de la siguiente manera: Ríos: Camaulote, Cartago, Cielito Lindo, Conacaste, El Arenal, El corozo, el Jobo, El Maneadero, El Ocote, El Pajal, El Tigre, Flor de la Palma, Frío, Grande, Hato Viejo, Helado, Huipero, Jobito, La Cruz, La Chorrera, La Libertad, Las Cañas, Las Lajas, Las Vacas, León, Naranjo, Negro, Obispo, Oscurito, Oscuro, Paso Caballo, Paso Hondo, Pescador, Seco, Talpetates (Ixcatuná), Turín, Uxuna, Uyune, Zacuapa, Riachuelo: San Isidro, Quebradas: De Agua, de Tepeaco, del Papayo, El Ariete, El Jocote, El Pescador, El Ríon, El Suncito, El Zapote, La Encantadora, Los Apantes, Los Cangrejos, Mal Paso, Santa Romelia, Seca, Sucia, Uñura, Vista al Mar. Zanjones: Arrivillaga, Coapa, El Jicaro,

El Tercerón, Gabildo, La Danta, La Monja, La Palmilla, La Providencia, Las Flores, Los Portales, Madre Vieja – El Panal y Tapacún (Figura 13).

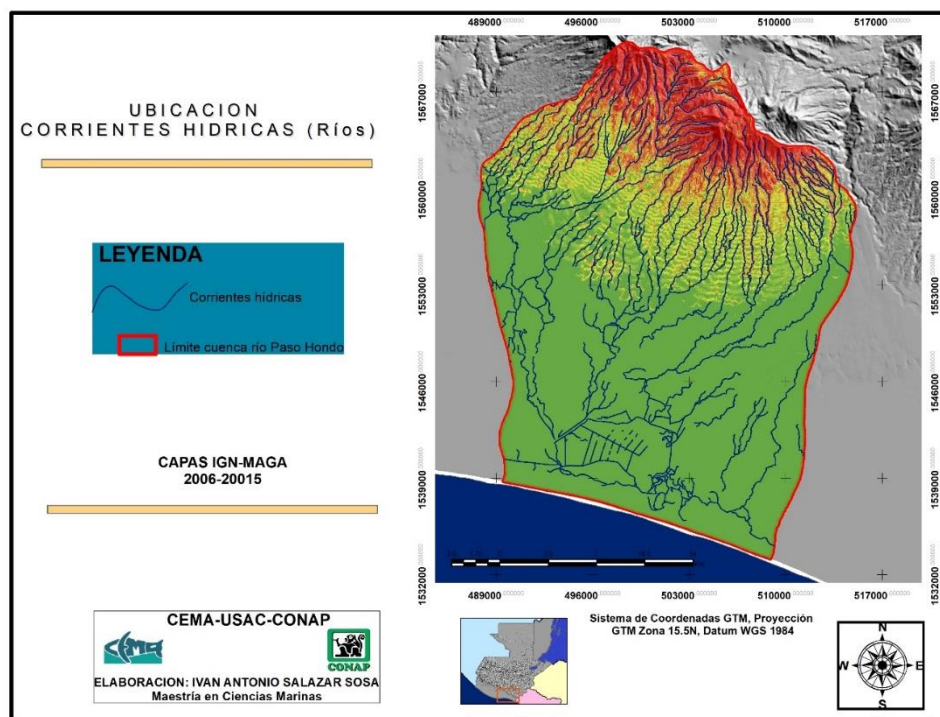


Figura 13 red de Corrientes Hídricas

5.1.7. Población

En cuanto a datos de población o centro poblados, se determinó utilizando una sobre posición de datos de capas, de 377 centros poblados con una proyección de registros utilizando por el Instituto Nacional de Estadística INE una cantidad de 80,550 habitantes aproximadamente establecidos en las áreas de influencia de los municipios de Taxisco, Chiquimulilla, Pueblo Nuevo Viñas, Guazacapan (Figura 14)

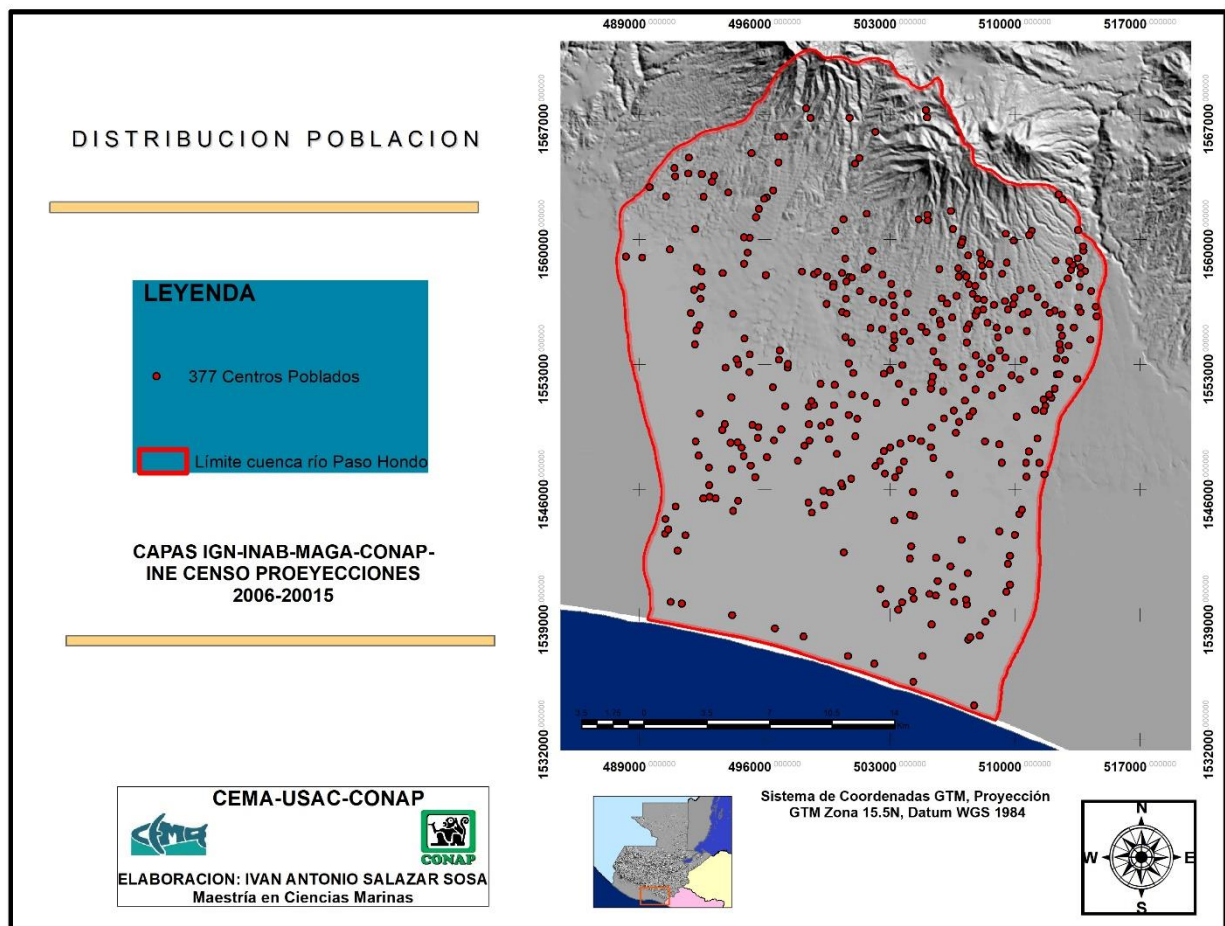


Figura 14 de Distribución Centros Poblados

5.1.8. Uso de la Tierra

La mayor distribución del uso actual en los límites de la cuenca río Paso Hondo está clasificada como agricultura en un 70%, para el caso de actividades de pastos naturales 10%, en el caso de los humedales 10%, para el caso de áreas urbanas construidas un 5% y para el caso de cuerpos de agua 5%. Las actividades agrícolas principalmente están relacionadas a caña de azúcar, café y algunos cítricos, en cuanto al área de pastos principalmente como fuente alimenticia para ganado y estas áreas también incluyen el pastoreo de especies bovinas (Figura 15).

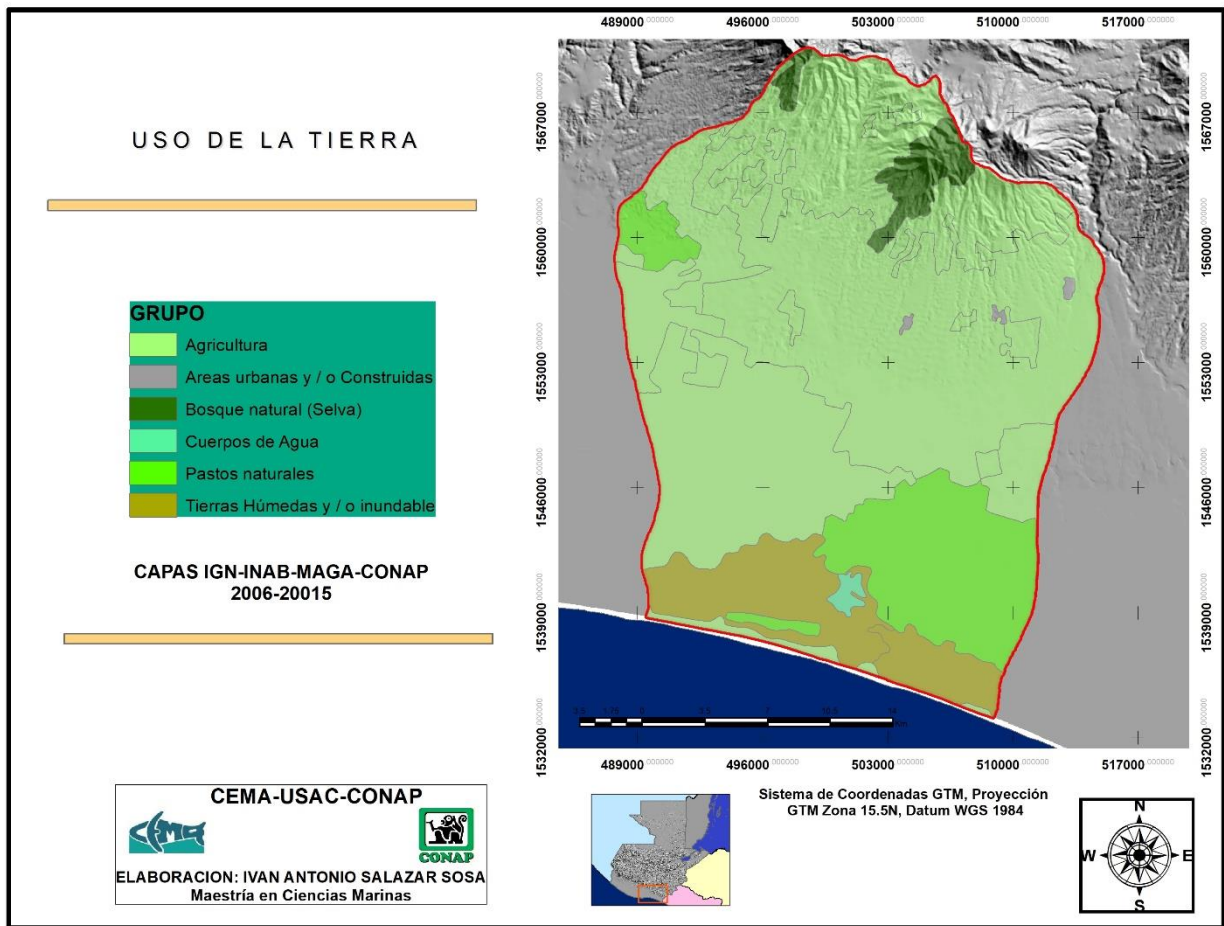


Figura 15 e Uso de la Tierra

5.1.9. Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas

En los límites de la cuenca río Paso Hondo se encuentran directamente bajo influencia 8 áreas del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas de la Siguiete Manera

- 2 áreas en zona costera Monterrico y Hawái
- 6 áreas de zona montaña y cadena volcánica (5 de ellas bajo categoría Reserva Natural Privada) aplicando la normativa y legislación vigente para su manejo (Figura 16).

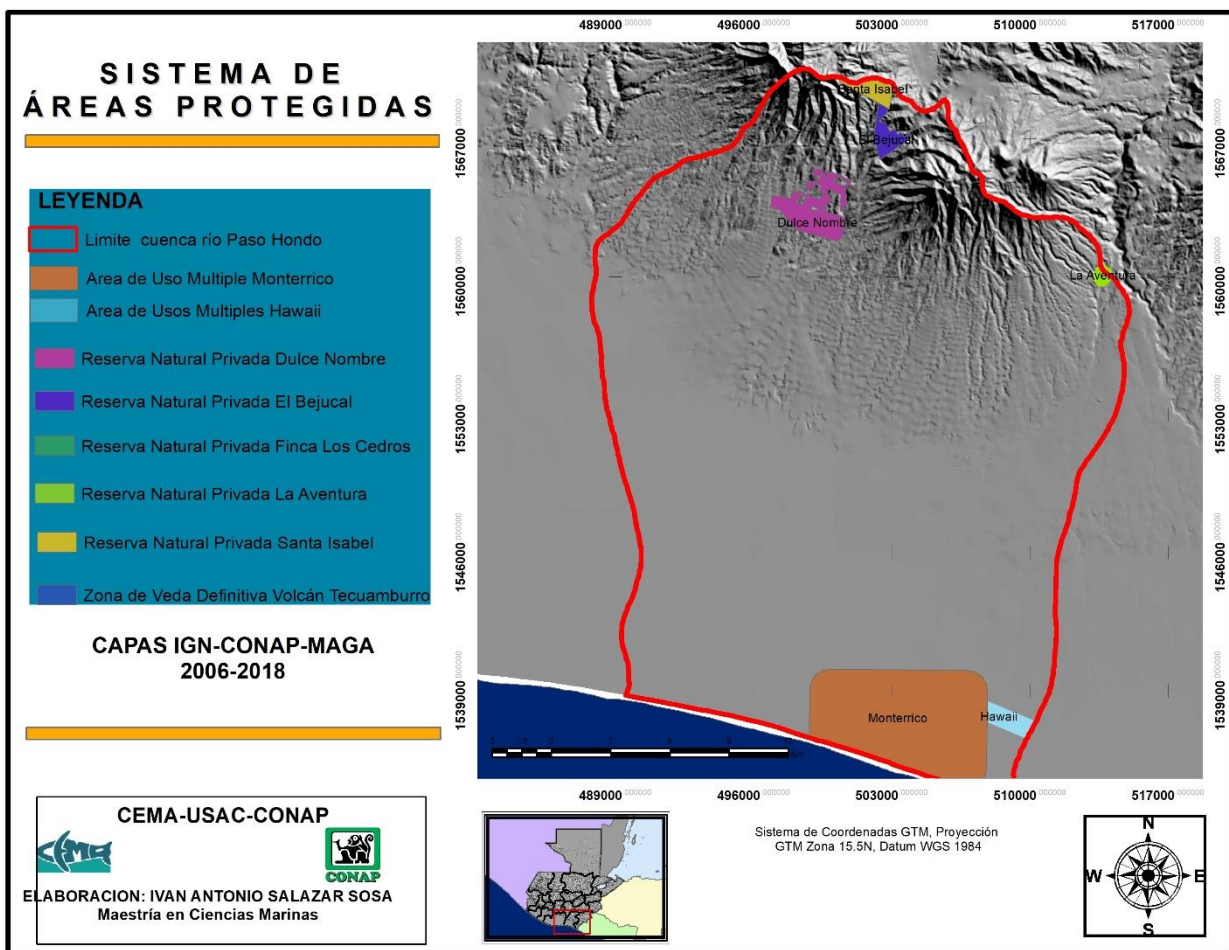


Figura 16 Ubicación del Áreas Protegidas en la zona de influencia del río Paso Hondo

5.1.10. Determinación del porcentaje (%) de la pendiente

Utilizando el modelo de elevación digital Análisis 3 D, que se basa en la Metodología de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso para obtener los rangos del porcentaje de pendientes a lo largo de la cuenca hidrográfica Río Paso Hondo se establece que en un 15 por ciento del total de área de los límites de dicha cuenca se presentan pendientes con rangos mayor a 32 por ciento en un 25 por ciento se presentan rangos entre 8 y 32 % y en una total del 60 por ciento rangos entre 4 y 8 % del total del área de la cuenca (Tabla 7, Figura 17).

Tabla 7. Rango para pendientes, utilizada según metodología de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso del INAB

PENDIENTES (%)					
PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)	< 4	4 - 8	8 - 16	16 - 32	> 32
>90	A	A	Am/Aa	Aa/Ss/Ap	F
50-90	A	A/Am	Am/Aa	Ap/F	F
20-50	Am/Aa	Am/Aa	Ss/Ap	Ap/F	F/Fp
<20	Ss	Ss/Fp	Ss/Fp	F/Fp	Fp

Fuente: Tomada del manual de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso INAB.

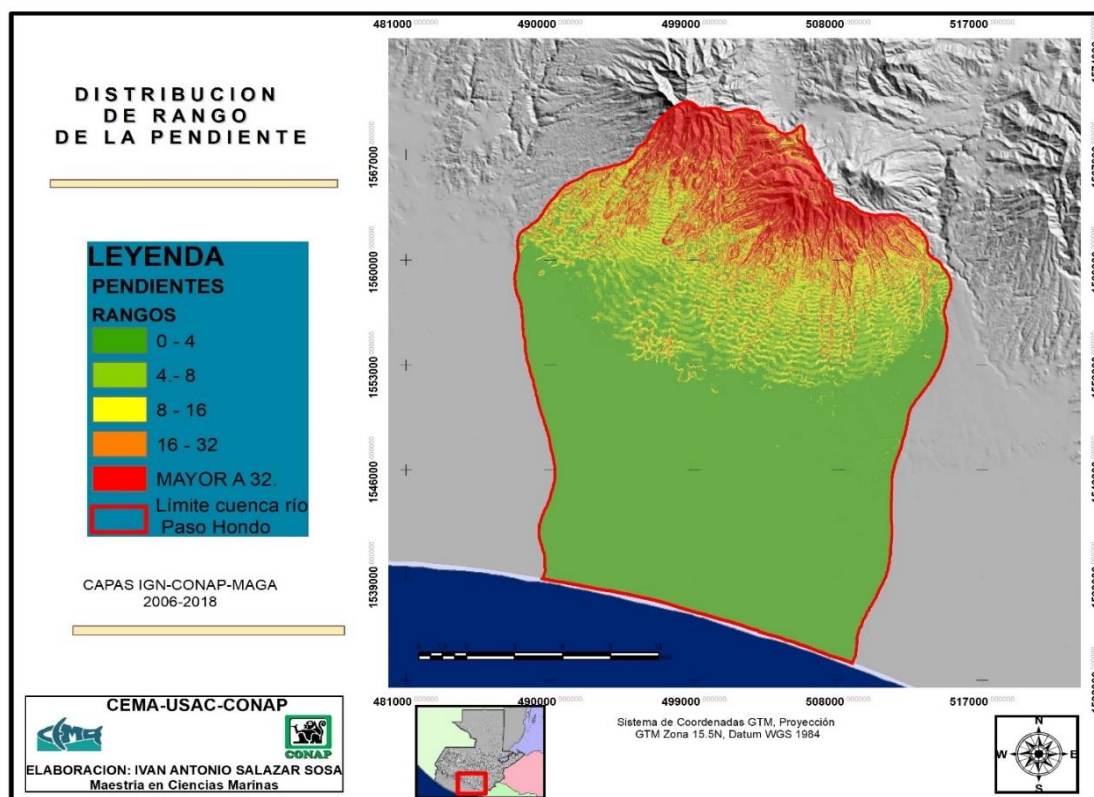


Figura 17 rango de Pendientes dentro de límites de Cuenca Hidrográfica

5.1.11. Ubicación en las partes de la cuenca hidrográfica (alta, media, baja)

En los límites a lo largo de la cuenca hidrográfica encontramos altitudes que varían desde los 0 msnm hasta 1600 msnm según representación de curvas de nivel, más la sobre posición de tipo de drenaje que varía de dendrítico, sub dendrítico a paralelo que nos indican la ubicación en parte: Baja, Media, Alta respectivamente como se puede observar en mapa representado en la siguiente imagen (Figura 18).

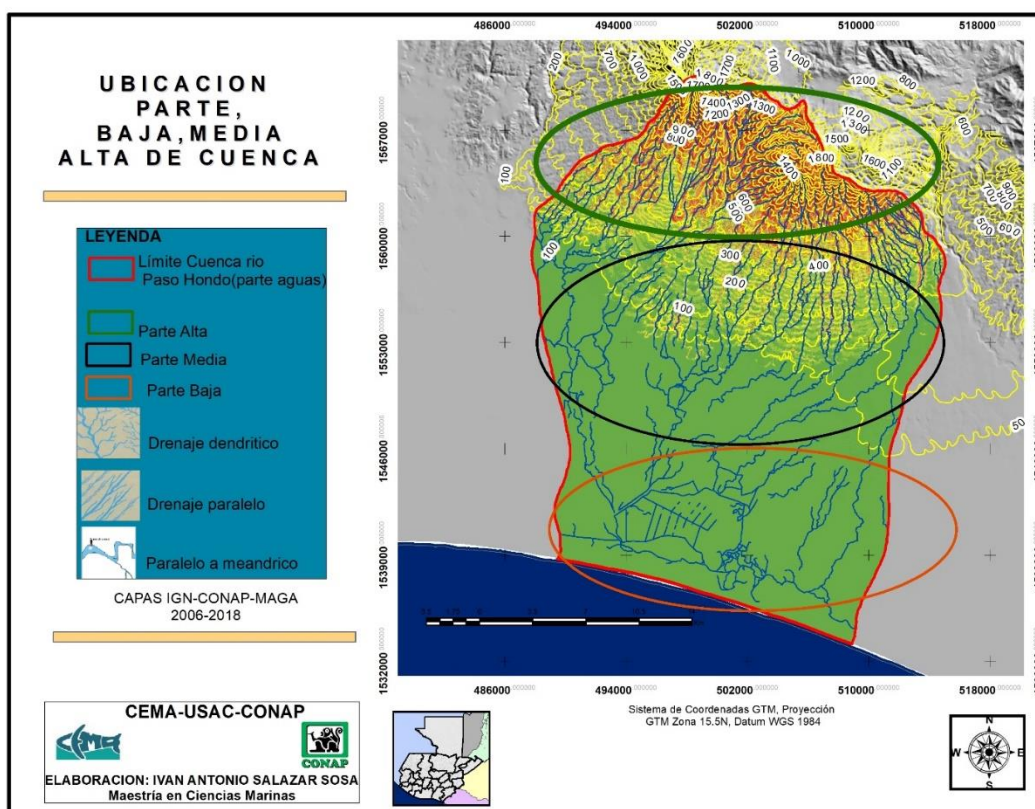


Figura 18 división de cuenca en parte alta, media, baja

5.1.12. Cobertura Forestal de Manglar

Utilizando los sistemas de Información Geografía y la base de datos del estudio de dinámica de cobertura forestal y el estudio del área de manglares elaborado por el instituto Grupo interinstitucional de monitoreo de bosques y uso de la tierra GIMBUT del año 2010 publicado

en el 2012 se determinó y logro establecer que la ubicación y distribución de la cobertura de manglar en la cuenca del rio Paso Hondo en el departamento de Santa Rosa, se encuentra en parches o manchas. (Figura 19).

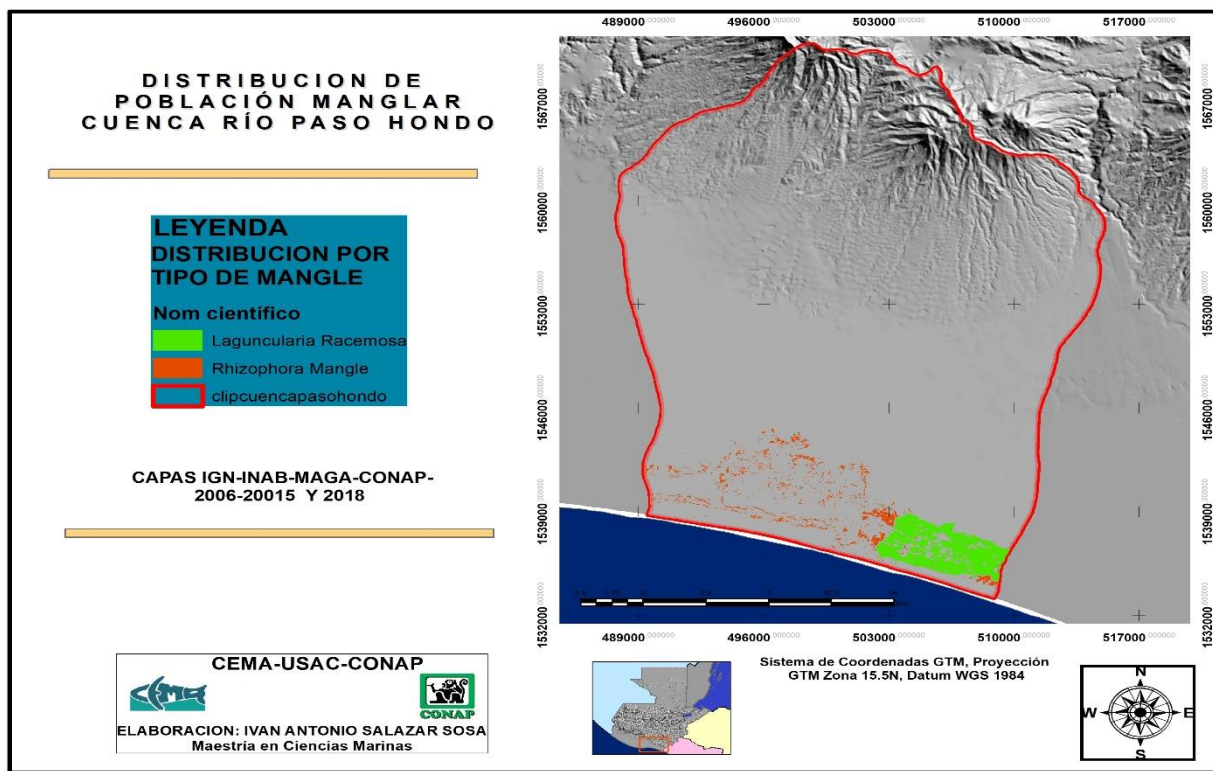


Figura 19 Distribución de cobertura de Manglar en límites de Cuenca Río Paso Hondo

5.3. Resultado de modelar la Erosión Hídrica por medio de ecuación universal USLE utilizando un Sistema de Información Geográfica ubicando zonas críticas.

5.3.1. Resultado del Factor R Erosividad

La erosividad de la lluvia en Guatemala, de acuerdo con Bravo, Chonay, & Gonzáles (1989), presenta valores desde 34,000 MJ*mm*ha-1*h-1*año-1, hasta 2,000 MJ*mm*ha-1*h-1*año-

1, por lo tanto, los valores encontrados en la cuenca del río Paso Hondo (612 a 3,000 MJ*mm*ha-1*h-1*año-1), pueden considerarse como bajo a nivel nacional (Figura 20).

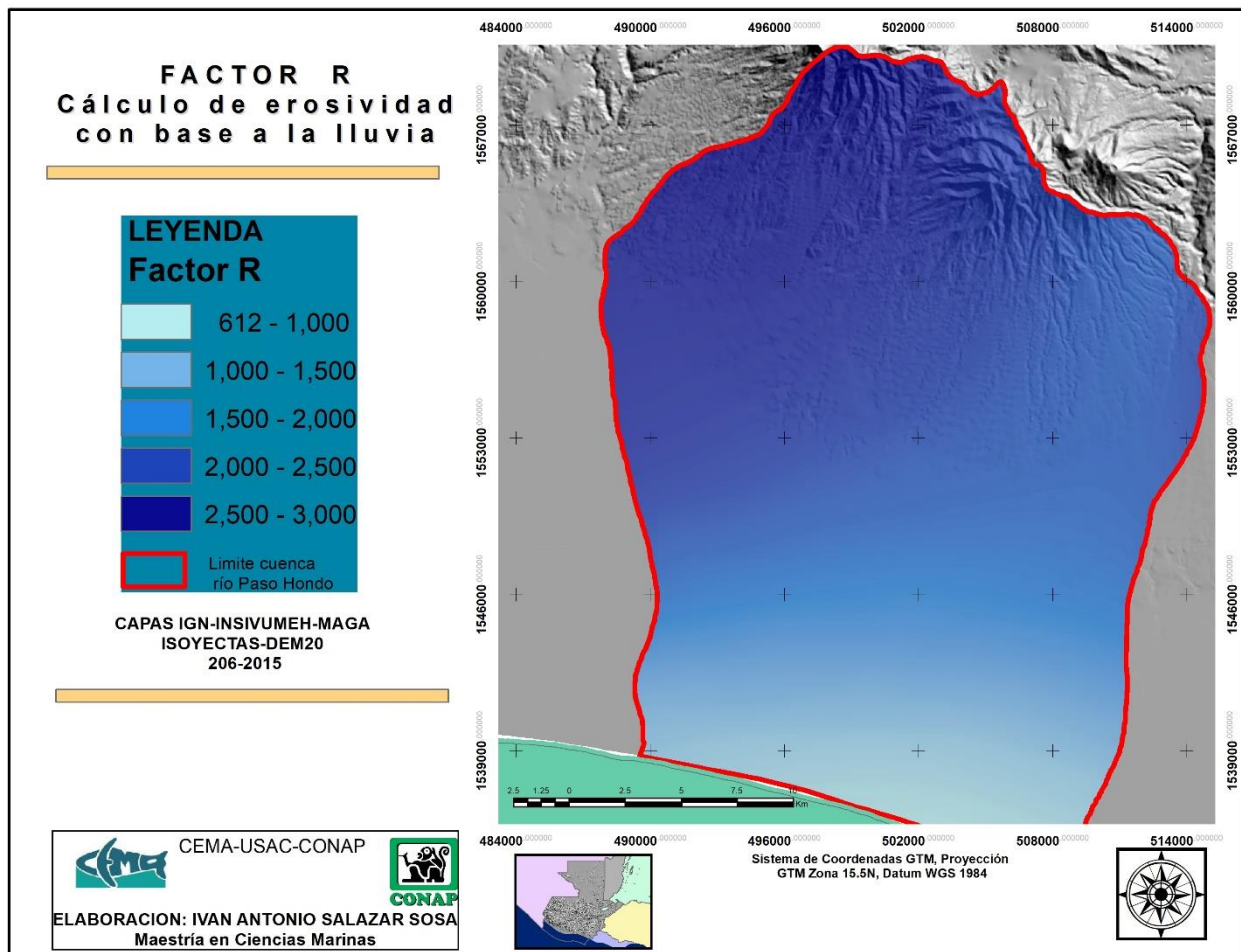


Figura 20 Erosividad de la lluvia Factor R.(isoyetas)

5.3.2. Resultado del Factor K erodabilidad

La erodabilidad del suelo en la cuenca tiene un valor entre 0.10 a 0.5 [(Mg*ha-1) * (MJ*mm*ha-1*h-1)]; la distribución espacial de la erodabilidad en función de la geología o tipo de roca (Figura 21).

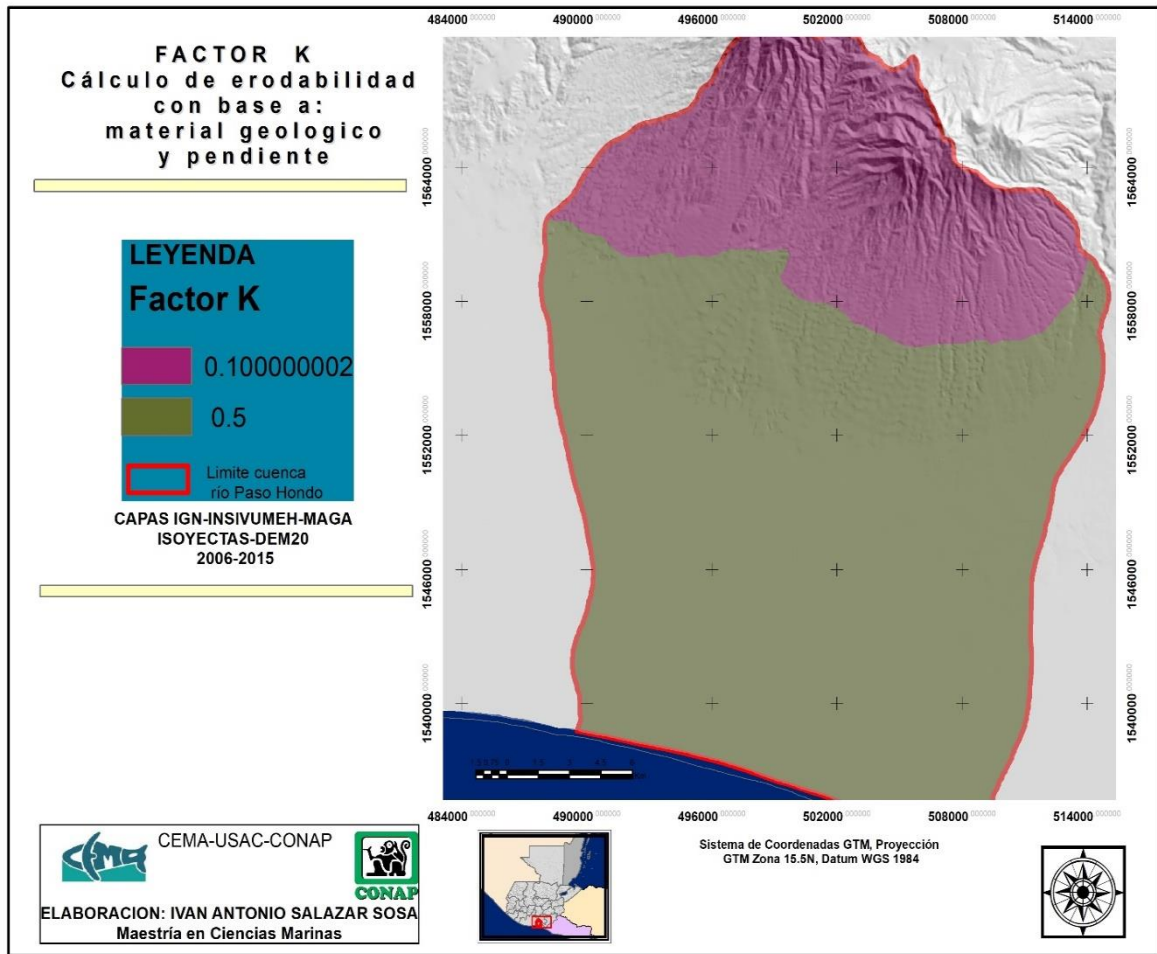


Figura 21 Distribución espacial de la erodabilidad, factor K. Cuenca del río Paso Hondo

5.3.3. Resultado del Factor LS longitud y gradiente de la pendiente (adimensional)

Este factor representa el efecto que la topografía tiene en el proceso de la erosión hídrica. El valor en la cuenca es de 0.03 a 21, guardando una correlación con la geomorfología, en la zona en donde predominan los paisajes de laderas con fuertes pendientes predominan los valores altos y en los paisajes de terrazas a planicies con pendiente suave y moderada se presentan los valores bajos (Figura 22).

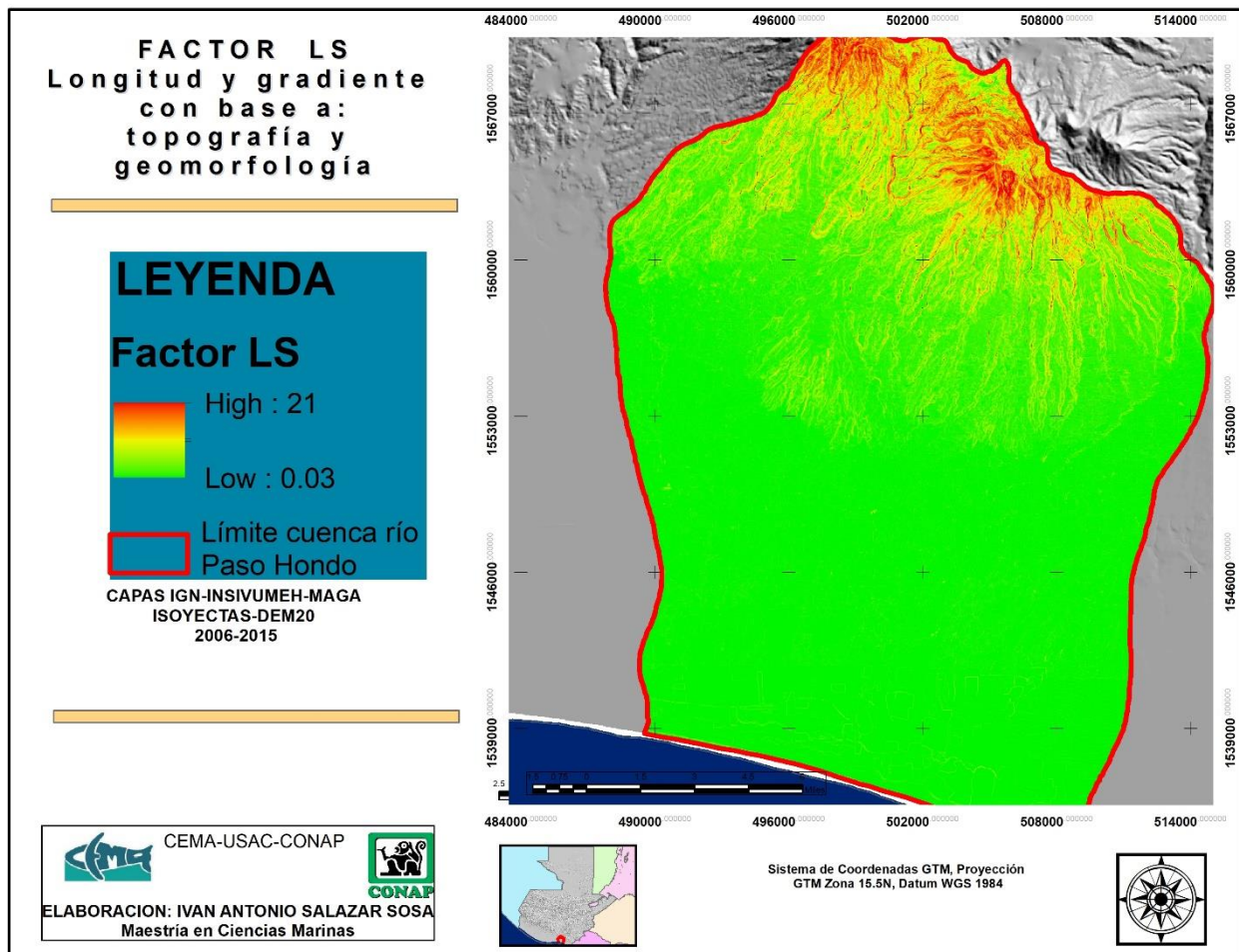


Figura 22 Distribución espacial del factor LS. Cuenca del río Paso Hondo

5.3.4. Resultado del Factor C del cultivo

El factor C para la cuenca concuerda con el uso predominante en esta que es la agricultura, el valor medio del factor C es de 0.050 y el máximo es de 1; el valor mínimo es de 0.001. La distribución espacial del factor C del cultivo (Figura 23).

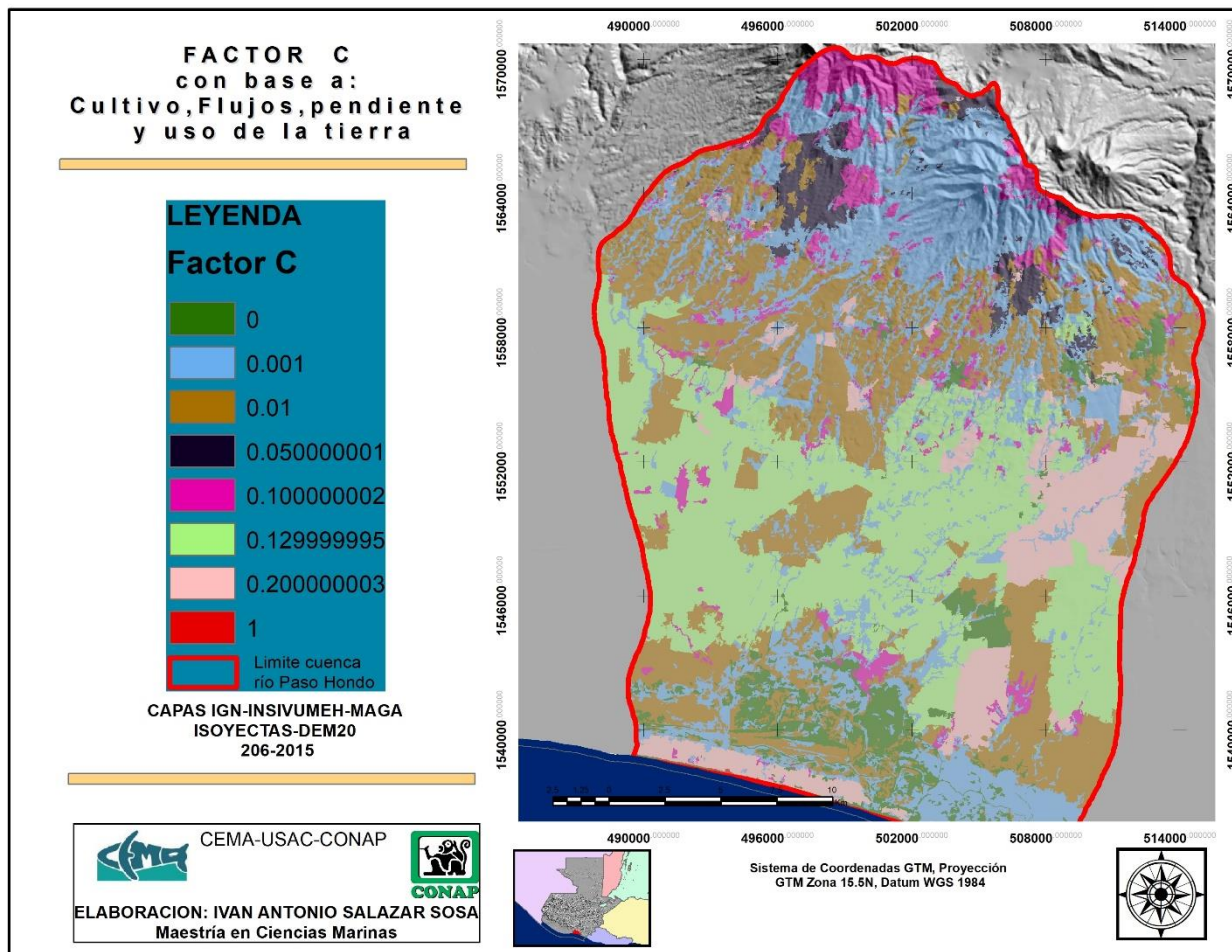


Figura 23. Distribución del factor C. Cuenca del río

5.4. Determinación de la Erosión Hídrica en la cuenca Paso Hondo, ubicando las áreas críticas vinculando a sus efectos en las áreas de influencia marino-costera

5.4.1 Factor A Erosión potencial en la cuenca del río Paso Hondo, método USLE con SIG:

La erosión potencial en la cuenca del río Paso Hondo es de 50 ($T \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$), la distribución porcentual de la erosión de acuerdo con el sistema de clasificación de FAO et.al (1980), muestra que el 65 % del territorio presenta una tasa de erosión leve, lo cual es consistente con la topografía predominante en la cuenca, ya que el 60 % tiene una pendiente menor del 8 % y al comportamiento erosivo de las lluvias con un valor de erosividad R entre 0.5 y 0.10

MJ*mm*ha-1*h-1*año-1. En la figura siguiente, se presenta la distribución porcentual de la erosión de acuerdo con las clases de erosión, el territorio afectado por una erosión severa es solamente el 2.16 %, lo cual equivale a 1,555 hectáreas (Figura 21).

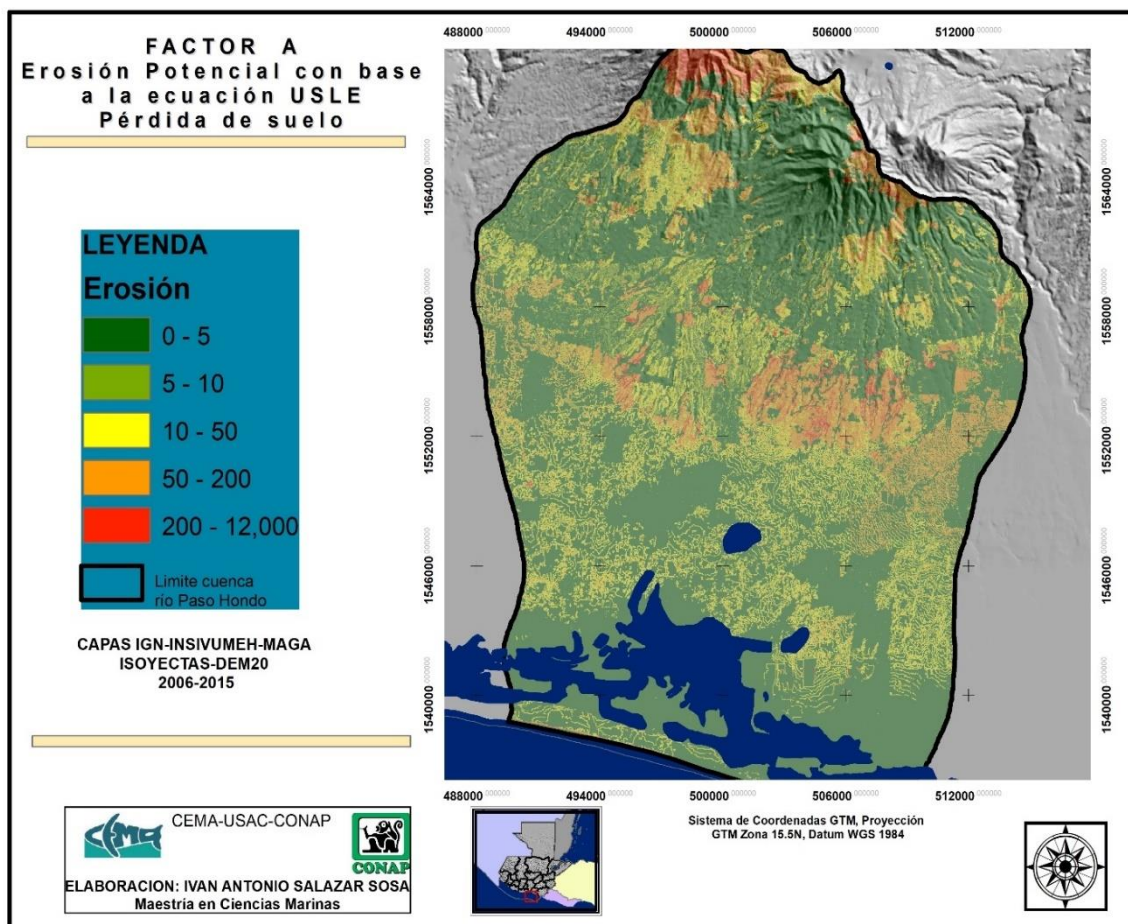


Figura 24 Distribución de la erosión potencial en la cuenca del río

5.4.2 Ubicación de puntos críticos específicos identificados distribuidos en la cuenca y aspectos identificados en campo:

Con base a los aspectos intrínsecos biofísicos vinculados a las matrices de jerarquización de impactos más los aspectos que se detallan a continuación (Tabla 8. Figura 25, Figura 26)

- Áreas deforestadas
- Áreas con pendientes muy fuertes sujetas a riesgo por erosión
- Laderas con procesos erosivos moderados y severos
- Áreas de asentamientos humanos en zonas de amenaza
- Deficiente cantidad de agua para los diferentes tipos de uso

- Pedregosidad y textura de suelo

Tabla 8 Coordenadas puntos críticos identificados

x	y	descripción
523570	1545628	inicio
522607	1547501	antena
521039	1551074	antena san juan tecuaco
516318	1558979	potreros
514479	1554783	Subestación electricidad
511942	1555570	deforestado
509207	1555623	deforestado
205021	1555179	destacamento militar
504334	1550146	potreros
501326	1556999	poteros
498481	1558135	deforestado
497202	1558514	potreros
496636	1558971	aña de azucar
492263	1558535	deforestación
490922	1558368	potrero y caña
489584	1558797	potrero
485551	1560510	hidroeléctrica
484888	1560715	puente



Fuente: datos georreferenciados y ubicados en campo

Figuras 25 y 26 Identificación de Puntos en campo, parte alta, media y baja de la cuenca

Para corroborar los datos analizados mediante técnicas geoespaciales también fue necesario hacer identificación en campo, a nivel de la pendiente se midieron distancias y ángulos para corroborar los datos de mapas obtenidos de la pendiente y los dem utilizados para el cálculo de factor LS (Figura 27)



Figura 27 verificación de pendientes, pedregosidad y textura de suelo a si con o tipo de vegetación.

En campo se verificaron y se identificaron las especies vegetales, arbóreas pastos y cultivos para utilizar los datos en factor C, factor A y los mapas de distribución de manglar por especie (Figura 28, Figura 29, Figura 30).



Figura 28 Identificación especies arbóreas Figura 29 Identificación áreas de manglar Figura 30 Estimación de áreas basales

5.4.3. Áreas críticas en función de las pendientes e inundaciones

Utilizando la ubicación de parte alta, media baja, el mapa de pendientes y de drenaje superficial o ríos se ha determinado las zonas expuestas a pérdida de suelo por erosión, deslaves de 11,881.42 hectáreas y las áreas sujetas a inundación por encontrarse en la parte más baja de la cuenca con pendientes desde el 0% hasta el 4% es decir un relieve plano expuesto a crecida de ríos y subida de nivel del mar un área de 21,045.45 hectáreas. (Figura 31).

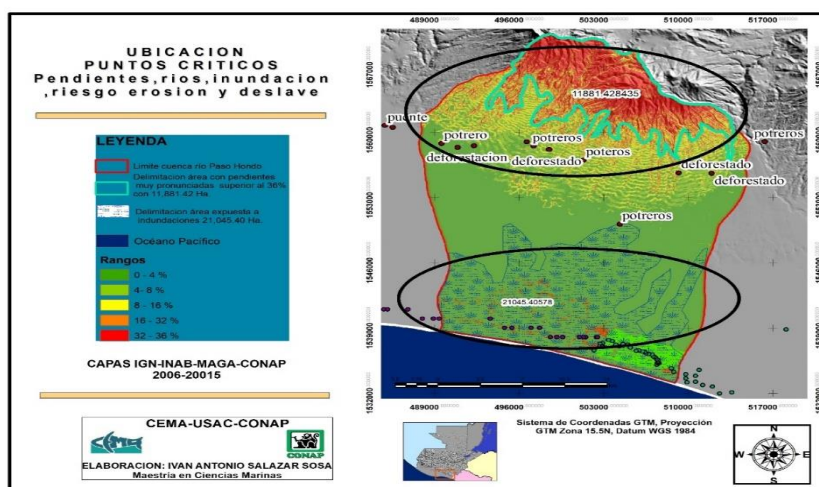


Figura 31 ubicación puntos críticos en función de pendientes e inundaciones

5.4.4. Áreas críticas de población vinculadas a las áreas de recarga hídrica

La población se encuentra distribuida en los límites de la cuenca río Paso Hondo en un 50% dentro de la zona que no ha sido considerada de recarga , es decir no se conoce si es de muy baja , baja o media recarga hídrica, lo cual vinculado a la población indica que todas las actividades sin la visión de manejo sostenible implican inadecuado manejo del recurso hídrico para utilización humana, es decir muy poca fuente de recurso hídrico para consumo de agua (bebible) el 40% se encuentra en una zona considerada como baja recarga hídrica, que implica también altos requerimientos de manejo sostenible para el hídrico para asegurar su disponibilidad, en el caso de las zonas de muy alta recarga y recarga media únicamente el 1 por ciento en igual distribución se encuentra la población contenida en ellas , es decir que no debería crecer esa población para evitar sobre explotación del área de alta recarga hídrica, a continuación se muestra el mapa de ubicación de la población y en la tabla se indica el porcentaje que representa de población. (Tabla 9, Figura 32).

Tabla 9 distribución de población en áreas de recarga hídrica

Categoría de recarga	Cantidad de Centro Poblado	%
Zona no considerada	215	57.03
Zona baja	151	40.05
Zona Muy Alta	5	1.33
Zona Media	6	1.59
Centros pob. Total	377	100.00

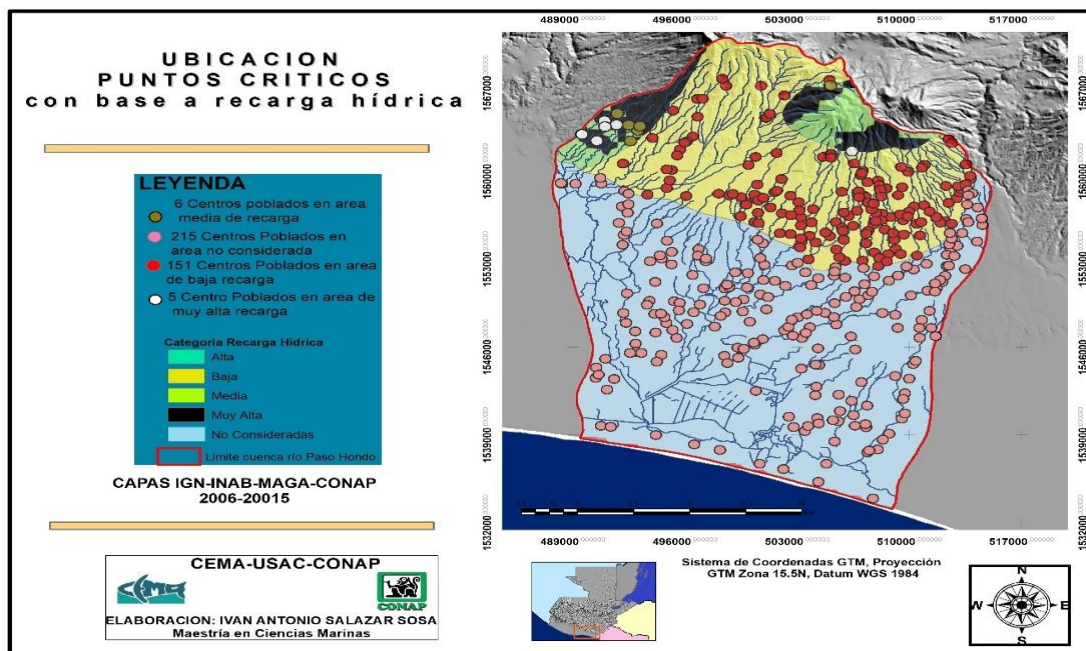


Figura 32 distribución de Población en áreas de recarga hídrica

5.4.6. Áreas críticas de inundación vinculada directamente a población

De un total de 215 centros poblados, 79 se encuentra en un área directa sujeta a probable inundación causada crecidas de ríos, nivel del más pendiente muy baja como se muestra en la figura que contiene el mapa de ares afectadas por inundación (Figura 33).

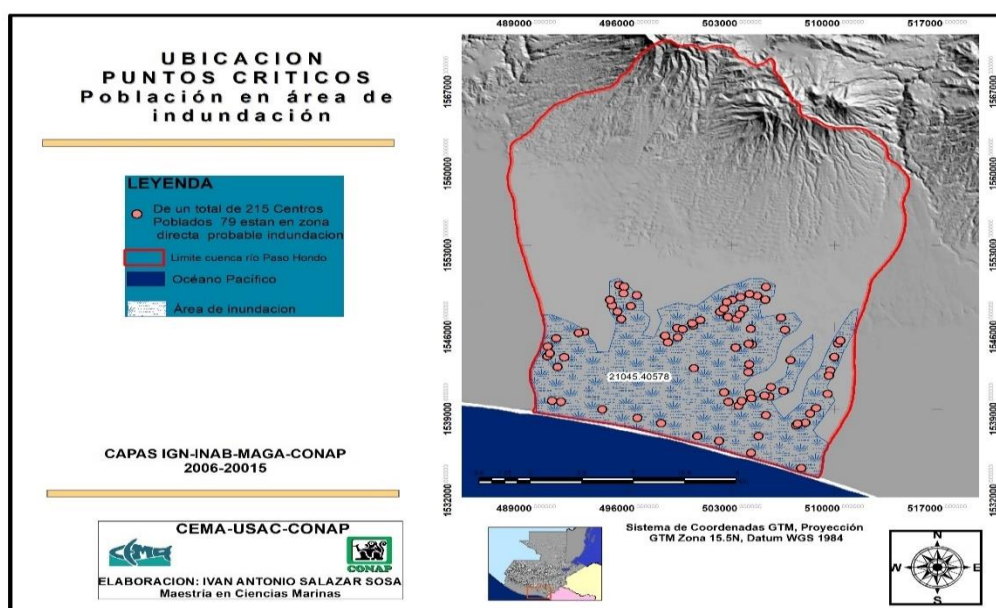


Figura 33 Centros poblados en áreas directas de inundaciones

5.4.7. Área crítica de amenaza directa al manglar por las poblaciones humanas y las inundaciones

El área de manglar puede verse muy afectada en cuanto a las acciones antropogénicas como deforestación por tala ilegal o insostenible, desvío de ríos vinculadas a las inundaciones pueden afectar la salinidad del agua que requiere el mangle, es decir puede afectar la presencia o no de determinada especie o su desaparición como se observa en la siguiente figura que ubica población, área de inundación, y área de manglar por tipo de género y especie que en una dinámica de cobertura forestal con una tasa anual de deforestación del 1 por ciento según la capa de mangle y el estudio de la dinámica y mapa de cobertura 2010,2012 generado por GIMBUT indica que 2,376.43 hectáreas de mangle blanco , 647.55 hectáreas de mangle rojo para un total de 3,023.98 hectáreas de mangle en los límites de la cuenca rio paso hondo, afectados por acciones humanas y los eventos extremos que provocan inundaciones (Figura 34).

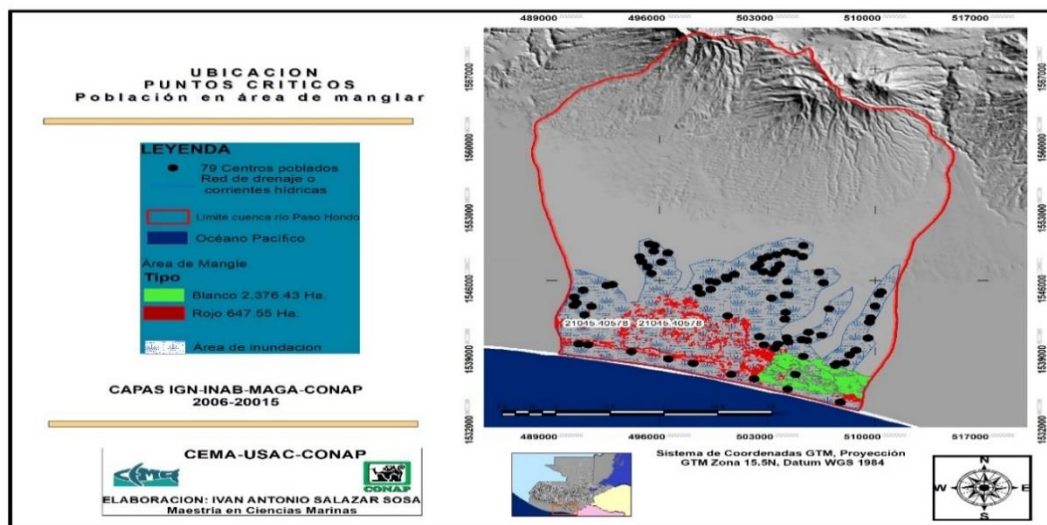


Figura 34 ubicación de putos críticos centros poblados con influencia en área de manglar

5.4.8. Áreas críticas según usos, cobertura forestal de manglar, y sistema de áreas protegidas

Actualmente en los límites de la cuenca río Paso Hondo, el mayor uso que se demanda es la de producción agrícola para caña, pastos y café, afectando considerablemente en la disminución del recurso forestal y de recurso manglar quedando la mayor parte conservada gracias al sistema de áreas protegidas esencialmente Monterrico y Hawái., a pesar de ello en forma de parches y fragmentos (Figura 35).

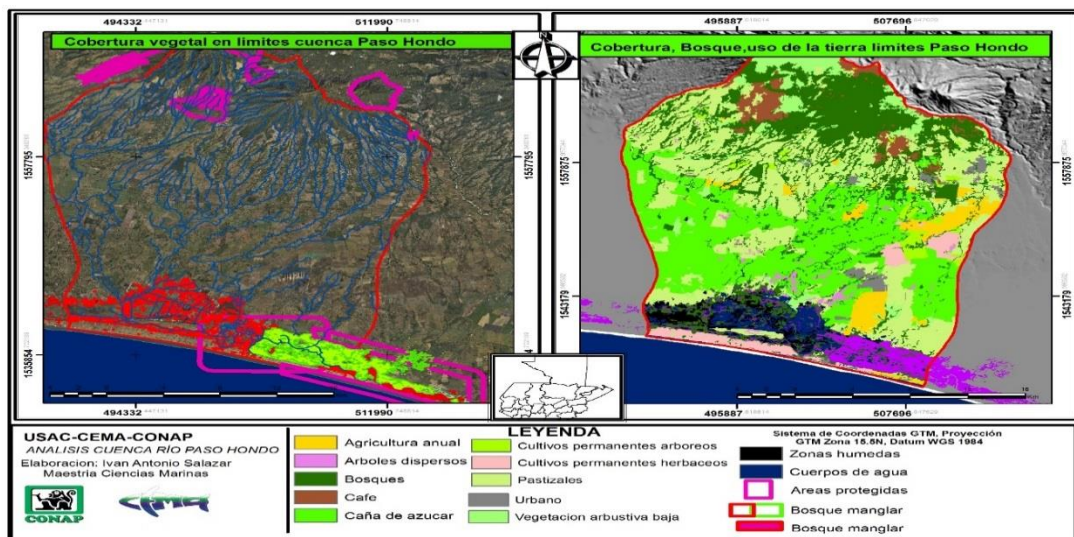


Figura 35 ubicación dinámica de la cobertura vegetal, bosques, uso de la tierra, vinculación áreas protegidas

5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La erosión hídrica en la cuenca, comparada con los usos de la tierra, muestra que los principales usos erosivos están relacionados con las actividades de cambio de uso de matorrales a cultivos agrícolas, el uso más erosivo son aquellas áreas en las que se tiene guamiles o matorrales con valores mayores a 200 T*Ha-1*año-1 seguido de los cultivos anuales, maíz , frijol, pastos, con 50 a 200 T*Ha-1*año-1, el cultivo de café con 10 a 50 T*Ha-1*año-1 y la caña de azúcar con valores de 0 a 10 T*Ha-1*año-1. Considerando el vínculo de dependencia que existe en las poblaciones y los granos básicos (maíz y frijol), para garantizar la seguridad alimentaria, el tener los valores seguidos después de los más altos de erosión potencial en los guamiles y matorrales , es una situación negativa para la cuenca, pudiendo tener repercusiones a mediano y largo plazo la reducción en las cosechas e incluso, pudiendo afectar la seguridad alimentaria a sí mismo, debido a que las presiones a las áreas de guamiles y matorrales es muy fuerte por el cambio de uso a cultivos, agricultura anual o para áreas de vivienda. Los valores de erosividad de la cuenca del río Paso Hondo presentan un comportamiento uniforme con un valor para toda la cuenca de 1,500 MJ*mm*ha-1*h-1*año-1 y el rango se encuentra desde 1,000 MJ*mm*ha-1*h-1*año-1, en la parte baja y central de la cuenca y valores de hasta 3,000 MJ*mm*ha-1*h-1*año-1 en las partes altas de las montañas, al norte de la cuenca.

El valor potencial de erosión hídrica utilizando SIG con el modelo USLE muestra que a nivel de la cuenca río Paso Hondo presenta valores considerados como leves en un 65 % del total de la cuenca con valores de 0 a 5 Toneladas por año (Tabla 10).

Tabla 10 Erosión potencial por uso de la tierra

	Perdida de Suelo (Toneladas /ha/año)	AREA (ha)	AREA (%)
Leve	0 a 5	46,828.26	65.11
Moderada	5 a 10	3,950.18	5.49
Fuerte	10 a 50	12,093.62	16.81
	50 a 200	7,494.12	10.42
Muy Fuerte	Mayor a 200	1,555.46	2.16
		71,921.64	100.00

La ecuación universal de pérdida de suelo permite estimar la erosión del suelo a lo largo de un período de un año, lo cual es válido para las variables que no tienen cambio a lo largo del año, como el factor LS, sin embargo, en lo relacionado al factor C de cobertura y uso del suelo, el nivel de cobertura que el suelo puede tener en un momento dado es diferente, de acuerdo con el período fenológico del cultivo y al desarrollo de las malezas y el cambio de uso de guamiles y matorrales a cultivos.

Como lo indican (Jiménez 1999) y (de la Cruz 2000) Los Manglares proporcionan un hábitat para muchas especies de aves, algunos peces y crustáceos. Las aguas poco profundas y fangales expuestos hacen este hábitat ideal para sondear la costa aves tales como chorlos y playeros. Aves zancudas como garzas, garcetas, espátulas, caraos e ibis utilizan estos y aguas más profundas a lo largo de manglares-alineados en busca de alimento. Garza (*Ardea alba*) se alimenta de cangrejos, peces, insectos acuáticos, mientras que la espátula rosada (*Platalea ajaja*) se alimenta de moluscos y otros invertebrados que viven dentro de los sedimentos. Garzas verdes (*Butorides virescens*) se alimentan de una variedad de presas, como peces, cangrejos, cangrejos, insectos acuáticos y terrestres. Los manglares también proporcionan hábitat de cría para aves zancudas. Garzas rojizas están restringidos a una franja estrecha de manglar a lo largo de las costas del sureste de Estados Unidos, México, Centroamérica y las Antillas. Dependen de los manglares para el hábitat de anidación y forrajeo. Muchas especies de patos, zambullidores, cormoranes se han observado en los hábitats de manglares. Actualmente la dinámica población de manglares está muy afectada y con alto grado de fragmentación dispersos en fajas o parches muy separados debido a las actividades antropogénicas, en los límites de la cuenca del río Paso Hondo, para lo cual se puede observar que están presentes dos especies el mangle rojo y el blanco, *Rizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, respectivamente, estos adaptados a niveles de salinidad distintos y a las influencias de las mareas, que en conjunto forman un a ecosistema de protección para las zonas costeras comprobado con lo que indica (Castillo 2012) y los estudios realizados por (MARN 2009) y (FAO 2019).

La eco región manglares de la costa seca del pacífico según describe Olson et al., 2001, se extienden en parches a lo largo de la zona costera de Guatemala, lo cual fue comprobado con el análisis de la cobertura de manglar utilizando las capas de GIBUT INAB CONAP UVG 2012

y generando el mapa de cobertura de manglar en la cueca Paso Hondo. los manglares y marismas dominan las costas de los estuarios en la llanura costera. Estas características de paisaje, asociadas al canal de Chiquimulilla aumentan la diversidad de especies específicamente en el área de estudio de la cuenca del río Paso Hondo, pero para las especies vegetales de manglar únicamente se identifican las dos especies descritas anteriormente debido a las acciones antropogénicas, las mareas, los cambios de salinidad o acidificación del agua.

En los límites de la cuenca río Paso Hondo, existe una gran amenaza de arrastre de sedimentos por las altas pendientes y la red de corrientes hídricas influenciada por la erosión hídrica a lo largo de la cuenca hidrográfica, pero si no se tiene cobertura vegetal y las prácticas de manejo adecuadas que afecta con dichos sedimentos a las zonas marino costera de manglar, logrando afectar en sus propiedades físicas y químicas, el recurso hídrico marino como lo referido por (Visión Mundial 2004)

Como se observa en los mapas generados, y con base a la literatura consultada el mangle rojo *Rizophora mangle* y el mangle blanco *Laguncularia racemosa*, son los dos tipos de mangle de mayor distribución en el área de estudio en los límites de la cuenca río Paso Hondo se encuentra dispersos en fajas y parches muy fragmentados para el caso de mangle rojo, ocupando un área total de 2,376.43 hectáreas de mangle blanco y 647.55 hectáreas de mangle rojo o colorado

En cuanto a los efectos, la cuenca tiene una alta incidencia en zonas marino-costeras, para lo cual resulta imposible abstraer el análisis de los litorales costeros del enfoque de manejo de cuencas, se muestra que muchos de los problemas que llegan a las costas se “importan” **del mal manejo de la cuenca media o alta.** Los problemas de **sedimentación** en los litorales costeros se deben al arrastre de suelos de las partes altas de la cuenca, Sin embargo, acciones tendientes a consolidar áreas que protejan las cabeceras de cuencas para evitar este tipo de problemas no se han concretado. Si bien los datos de erosión y sedimentación para los litorales son mayores para el Pacífico, los efectos de la sedimentación son más sensibles en el Caribe. Esto es debido a que hay mayor impacto sobre las costas superficiales y los sistemas ecológicos. Por otro lado, análisis de la cobertura vegetal actual indican que la zona conocida como “boca costa” **carece de remanentes boscosos de tamaño significativo que mitiguen o disminuyan los problemas de erosión y posterior sedimentación.** Se tienen efectos negativos no solamente desde el punto de vista de **conservación sino en términos sociales y traducidos a su vez en pérdidas de**

carácter económico. Derivado de las acciones antropogénicas y mediante las técnicas de análisis geoespacial se determina que los principales efectos son:

Degradación de los suelos: se manifiesta en la erosión, salinidad y el mal drenaje. Está provocada por la erosión natural y antrópica, la salinidad, la tala de árboles, el pastoreo intensivo y la extracción de áridos para la construcción. Afectación de la capacidad agro productiva de los suelos y por tanto afecta la economía. Pérdida de diversidad biológica es un problema que provoca afectaciones a los recursos naturales dado, fundamentalmente por la acción antrópica que se manifiesta en la tala ilegal, la pesca incontrolada, la contaminación de las aguas.

Sedimentación en cuerpos de agua, producto del arrastre de partículas de suelo por escorrentía hídrica que va a parar al mar, zonas costeras y estuarinas. Los cuerpos de agua, los cuales forman parte del ecosistema estuarino denominado Canal de Chiquimulilla con sus canales anexos y lagunas naturales que cambian su salinidad dependiendo de la acción de las mareas. Dicha salinidad se intensifica en la época seca, debido a que disminuye el caudal de agua, consecuencia de escorrentía derivada de las subcuencas del río María Linda y la del río Paso Hondo, lo cual provoca que baje el nivel del agua, dando la oportunidad a que el agua salada proveniente del mar lo inunde. Con este fenómeno se provoca la muerte de algunas plantas no halófitas que se han establecido en el ecosistema durante la época lluviosa.

6. CONCLUSIONES

- Dentro de los aspectos que pueden causar efectos en la cuenca del río Paso Hondo se encuentran factores relacionados a la lluvia, tipo de suelo y textura, geología, pendiente, dirección de flujos, corrientes hídricas, erodabilidad, erosividad, y erosión potencial.
- **La ecuación USLE** es un modelo paramétrico multiplicativo utilizado para estimar la erosión hídrica, por medio aplicación de Sistema de Información Geográfica con la cual se genera un modelo distribuido para el cálculo del índice de erosión potencial, visualizando las áreas más afectadas. Esto nos permite, además, jerarquizar de las acciones de conservación de suelos y enfocar la planificación hacia el control de zonas de mayor riesgo de pérdida de suelo.
- **La erosión potencial en la cuenca del río Paso Hondo es de 50 ($T \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)**, la cual está considerada como leve de acuerdo a la metodología de FAO et.al (1980).
- **La erosividad determinada para la cuenca del río Paso Hondo presenta valores entre los 612 a 3,000 $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot año^{-1}$** , es decir que el efecto que tiene la lluvia en relación al tipo partículas de suelo formadas por el tipo de roca y geología para moverlas y causar erosión, pueden considerarse como bajo, a nivel nacional.
- Acciones antropogénicas afectado en la distribución de mangle por especie, a pesar de las altas presiones y acciones antropogénicas, la cobertura de mangle se ha mantenido en las áreas protegidas Monterrico y Hawái en comparación del espacio fuera de área protegida.
- La cobertura boscosa se encuentra degradada en un 80 del total de la cuenca hidrográfica, en el componente de cobertura de manglar esta degradado en un 70 % manteniendo un pequeño porcentaje de manglar en 2 de las áreas protegidas marinas Monterrico y Hawái.
- En la actualidad con base al uso, la pendiente la erosividad la erodabilidad los valores encontrados de Erosión Potencial, están considerados en su mayoría como leves y en un muy bajo porcentaje como muy fuerte ya que únicamente representa el 2% de total de la cuenca río Paso Hondo equivalente a 1,555.46 hectáreas.

7. RECOMENDACIONES

- Utilizar las bases técnicas planteadas para el análisis de la dinámica en la cuenca río Paso Hondo.
- Utilizar estas bases técnicas para posteriores estudios y la ubicación futuros impactos en el área de la cuenca río Paso Hondo.
- La creación de sede subregional en el área del Departamento de Santa Rosa para fortalecer la atención y el monitoreo del área marino-costera de influencia de la cuenca río Paso Hondo especialmente los impactos y actividades que influyen en el área protegida Monterrico.
- Las prácticas generales de manejo, manejo y conservación de suelos deberán mantenerse o mejorar porque de lo contrario, cambios de uso drásticos en áreas de guamiles, cultivos anuales podrán ampliar su rango de erosión potencial causando mayor arrastre y sedimentación en el mar.
- Es necesario que bajo los planes maestros que se establezcan o estén ya en funcionamiento el ordenamiento por medio de planes de manejo forestal, planes de manejo de cuenca y proyectos de agricultura fortalezcan prácticas de conservación de suelos.
- Es necesario que a nivel institucional de gobierno toda la planificación y programación este enfocada bajo el criterio de Manejo Integrado de Cuenca a nivel departamental, municipal, nacional para el resguardo y una mejora en las áreas marino-costeras.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, G., & Iza, A. (2006). Gobernanza de aguas compartidas. Moravia, CR, UICN. Serie de Política y derecho ambiental.

Aguirre, J. A. M., & Sánchez, J. C. R. (1994). Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración higrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. Ingeniería del agua, 1(2).

Argueta, J. (2010) Estimación de los riesgos y niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río Negro, Chimaltenango. Universidad de San Carlos de Guatemala, (Licenciatura) 105p.

Alvarado, Gilberto., et.al. (1988) Diagnóstico, subcuencas prioritarias piloto Xayá Pixcayá. Guatemala: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (-CATIE-), 190p.

Alvarado, Gilberto., HERRERA, Isaac, (2001) Mapa fisiográfico geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1:250,000 -Memoria Técnica- Guatemala: MAGA. (117 p).

Álvarez, P. (2009). Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales. Perspectiva Geográfica: Revista del Programa de Estudios de Postgrado en Geografía. 2009, vol. 14, No 1p. 181-218.

Arana, G. (1992) Análisis espacial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Pensativo, en el municipio de Santa María Magdalena, departamento de Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Maestría. Turrialba, CR CATIE. (64 p)

Arnoldus, h., boodt, m. D., & Gabriels, d. (1980) An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. Assessment of erosion., 127-132.

Ávalos, H. C., & López, R. P. (2008). Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos? Boletín del Archivo Histórico del agua, (39), 16-21.

Braun – Blanquet, J. (1950). Sociología vegetal, estudio de las comunidades vegetales. Buenos Aires, Argentina.

Bravo, Marco., Chonay, José., & Gonzáles, (1989) Allan. Estudio preliminar de la erosividad de las lluvias en la república de Guatemala:Tikalia. No 14 , 10p.. P.99-108.

Breña, P. (2006). Principios y fundamentos de hidrología de superficie. Principios y fundamento Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana.

Berry, J.K. (October 1986)"Learning Computer Assisted Map Analysis" in Geographic Information Systems Report, Part III, 39-43.

Burrough, P.A. (1986) Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford.

Calderón, Á. & A (2011). Utilización De Los Sistemas De Información Geográficos para La Propuesta Del Manejo De Los Recursos Naturales Renovables De La Parcialidad Chipuac Del Municipio de Totonicapán. Guatemala Escuela de Postgrado Ingeniería Universidad de San Carlos.

Carmona, A., & Monsalve, J. (2004). Sistemas de información geográficos. In Congreso de Ingeniería de Sistemas en la Universidad San Buenaventura de Medellín Colombia.

Custodio, E., & Llamas, M. R. (1976). Hidrología subterránea (Vol. 1). Barcelona, Omega.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hil

Cotler, H. (2004) El estudio integral de cuencas en México, estudio y reflexiones México Df. Escobar J. (2000) Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2002. Todos los derechos reservados N° de venta: S.02.II.G.112 Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile.

Faustino Manco, J., & Jiménez Otárola, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas.

Flores, H., Martínez, M., Operaza, L., Seans, E., González, R. (2003) Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán. Jalisco, México: Terra Latinoamericana, No 21,.(233-244 p).

García A., G. R. (1997). Manual Técnico para el Manejo Integral de cuencas hidrográficas. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia., Publicaciones SENA Dirección general.

García Azuero, A. F., Campos Arce, J. J., Villalobos Soto, R., Jiménez Otárola, F., & Solórzano, R. (2005). Enfoques de manejo de recursos naturales a escala de paisaje: convergencia hacia un enfoque ecosistémico.

Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., Rodríguez Vagaría, A. M., & Besteiro, S. I.(2009). Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas. Gaspari. La Plata, 321

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas

Herrera Ibáñez, I. R. (1997). Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía.

Jiménez, J. A. (1994). Bosque de manglares en la Costa Pacífica de América Central. Revista Forestal Centroamericana.

Jimenez, J. A. (1999). Ambiente, distribución y características estructurales en los Manglares del Pacífico de Centro América. Costa Rica.

Morales De La Cruz, M. (2000). Estudio de algunos factores que determinan la población y distribución del mangle en el área comprendida entre Puerto Viejo (Iztapa, Escuintla) y Zunzo (Taxisco, Santa Rosa). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Melendres, O. C., Galli, A., Ramírez, I. G., Torres, O. R., & González, (2000) A. D. Modelo De Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos En Cuencas Hidrográficas Y De Adaptación Al Cambio Climático.

Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Alfaomega, Colombia. Mundial, V. (2004). Manual de manejo de cuencas. San Salvador, SV.

Olaya, V. (2009). Sistemas de información geográfica. Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano, 2009, núm. 8.

Pullar, D., & Springer, D. (2000). Towards integrating GIS and catchment models. Environmental Modelling & Software, 15(5), 451-459.

Puerta, R. (2011). Manual Técnico Básico Arc Gis. Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Sánchez, K., Piedra, M. A., & Galloway, G. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica.

Sarmiento, J. E. H. (2003). Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás, División de Universidad Abierta ya Distancia DUAD.

Suman, D. (1994). Legislación y administración de los manglares de América Central, Revista Forestal Centroamericana. UNA, F. (1994). Los manglares del Pacífico centroamericano, Costa Rica.