

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Evaluación del Balance sedimentario de las Cuencas  
Hidrográficas de Zapotal y Jipijapa hacia la zona litoral

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera en Geología**

Presentado por:

Daniella Andrea Mora Villón

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a las 3 personas más importantes de mi vida quienes me enseñaron que “Con perseverancia se llega al éxito”

A mi hermana María Belén, que con su ánimo y dedicación me ha demostrado que se puede alcanzar todo lo que te propongas.

A mi madre Flor Villón, que con su amor y constancia me ha enseñado día a día a ser mejor.

A mi padre Jorge Mora, que con su esfuerzo y lucha me ha permitido llegar donde estoy ahora.

Los amo por siempre.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi tutora de tesis Mishelle Muthre por el apoyo y los consejos para la culminación del proyecto, a mis profesores de la carrera que siempre brindaron sus conocimientos para mi continuo aprendizaje, a mi abuelita y mis tíos que me han visto crecer, a mis compañeros y amigos quiénes durante estos cinco años nos hemos apoyado para alcanzar juntos esta meta.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*Daniella Andrea Mora Villón*) y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

---

Daniella Andrea Mora  
Villón

# EVALUADORES

.....  
**MSc. David Altamirano**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**MSc. Mishelle Muthre**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Las playas ecuatorianas enfrentan un desbalance sedimentario que las expone a riesgo futuro de desaparición debido a la insuficiente cantidad de material que llega a la costa por medio de los cauces fluviales, uno de los factores que influye en la problemática son estructuras como camaroneras, represas y diques que actúan como barrera para el desarrollo del tránsito costero natural, evaluar la influencia de la antropización en el volumen de sedimentos transportados por los ríos principales de las cuencas hidrográficas Jipijapa y Zapotal permitirá identificar si los flujos sedimentarios actuales son suficientes para crear sistemas canalizados que permitan la prolongación desde la desembocadura del río hasta la plataforma continental. Mediante el análisis de la morfometría, geología, edafología, clima, topografía e hidrología de las cuencas con el método USLE/RUSLE2 y los SIG se concluye que las cuencas Jipijapa y Zapotal producen 196.34 y 176.59 Tm/ha/año de sedimentos para alimentar a las playas viéndose reducidas en un 2.31% y 7.91% de su capacidad potencial disponible, con esto se plantea ¿Será posible una renovación futura de la configuración territorial y fluvial fundamentada en la preservación de la cosecha de agua y tránsito costero logrando frenar la tendencia deficitaria de la zona litoral?

**Palabras Clave:** Desbalance sedimentario, tránsito costero, antropización, USLE/RUSLE2

## ABSTRACT

*Ecuadorian beaches deals with a sedimentary imbalance that exposes them to future fading due to the not enough amount of material that reaches the coast through river channels, one of the factors that helps to increase the problem are structures such as shrimp farms, dams and dikes which act as a barrier for the development of natural coastal transit, evaluate the influence of human action on the volume of sediments transported by the main rivers of the Jipijapa and Zapotal watersheds, indicate if the current sedimentary flows are sufficient to create canalized systems that allow the connection between the mouth of the river to the continental shelf. By analyzing the morphometry, geology, edaphology, climate, topography and hydrology of the basins with the USLE / RUSLE2 method and the GIS, it is concluded that the Jipijapa and Zapotal basins produce 196.34 and 176.59 Tm /ha / year of sediments to fulfill the beaches being reduced by 2.31% and 7.91% of their potential available capacity, with this it is proposed: Will a future renewal of the territorial and fluvial configuration be possible based on the preservation of the water harvest and coastal traffic, managing to stop the deficit trend from the littoral area?*

**Keywords:** *Sedimentary imbalance, coastal transit, human activity, USLE/RUSLE2*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ABREVIATURAS .....	X
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Justificación del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.1 Marco teórico .....	3
1.1.1 Parámetros físicos de la precipitación.....	3
1.1.2 ¿Cómo funcionan los ambientes fluviales? .....	4
1.1.3 Morfometría de una cuenca hidrográfica.....	4
1.1.4 Sedimentación .....	6
1.1.5 Balance sedimentario .....	6
1.1.6 ¿Cómo afecta la antropización en el balance sedimentario? .....	7
CAPÍTULO 2 .....	8
2. Características de la zona de estudio.....	8
2.1 Ubicación geográfica y política .....	8



2.2	Geomorfología .....	9
2.3	Cuencas hidrográficas.....	9
2.4	Marco Geológico .....	10
2.5	Estructuras Geológicas .....	10
2.6	Hidrogeología.....	11
2.7	Meteorología .....	11
2.8	Erosión Costera .....	12
CAPÍTULO 3.....		13
3.	Metodología .....	13
3.1	Diseño Conceptual .....	13
3.2	Datos y Programas.....	14
3.2.1	Imágenes satelitales climáticas.....	14
3.2.2	Modelo de elevación Digital .....	15
3.2.3	Sistemas de Información Geográfica (GIS).....	15
3.2.4	IDRISI Selva 17.0 .....	15
3.3	Métodos .....	16
3.3.1	Análisis de Información.....	16
3.3.2	Cuantificación del aporte sedimentario .....	16
3.3.3	Distribución hidrológica de los sedimentos .....	21
CAPÍTULO 4.....		25
4.	Resultados Y ANÁLISIS.....	25
4.1	Cuantificación del aporte sedimentario.....	25
4.1.1	Erosividad por la lluvia (R) .....	25
4.1.2	Erodabilidad (K) .....	28
4.1.3	Factor topográfico (LS) .....	30
4.1.4	Cobertura Vegetal (C).....	31

4.1.5	Factor de Conservación (P) .....	33
4.1.6	Factor de Retención (T) .....	33
4.1.7	Pérdida de Suelo Anual Potencial (A) .....	34
4.2	Distribución hidrológica de los sedimentos .....	35
4.2.1	Análisis de la morfométrica de las subcuencas y sus ríos principales .....	35
4.2.2	Transporte de los sedimentos en la cuenca hidrográfica .....	39
4.2.3	Volumen de transporte en la desembocadura .....	40
4.2.4	Influencia de la antropización .....	41
4.3	Discusión .....	43
CAPÍTULO 5 .....		45
5.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	45
	Conclusiones .....	45
	Recomendaciones .....	47
BIBLIOGRAFÍA .....		49
APÉNDICES .....		55

## **ABREVIATURAS**

ASF	Alaska Satellite Facility
CHIRPS	Climate Hazards group infrared precipitation with stations
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GIS	Geographical Information System
INAMHI	Instituto Nacional de meteorología e hidrología
SDR	Sedimentation delivery ratio
TIFF	Tagged Image File Format
USLE	Universal soil loss equation

## SIMBOLOGÍA

Kc	Coeficiente de Gravelius
k <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
m	Metros
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
mm	Milímetros
mm/año	Milímetros por año
%	Porcentaje
S	Sinuosidad
Tm/ha/año	Toneladas por hectárea por año

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Interacciones entre elementos y procesos hidrológicos y geomorfológicos en el sistema fluvial (Rocha, 1998). .....	5
Figura 2.1 Mapa de la zona de estudio, Cuenca de Zapotal y Jipijapa. ....	8
Figura 3.1 Metodología para la cuantificación de sedimentos transportados. ....	14
Figura 4.1 Precipitación media mensual de 1981. ....	25
Figura 4.3 Factor R para las cuencas Jipijapa y Zapotal .....	27
Figura 4.4 Factor K para las cuencas Jipijapa y Zapotal .....	30
Figura 4.5 Factor topográfico en las Cuencas Zapotal y Jipijapa.....	31
Figura 4.6 Factor C para las cuencas Jipijapa y Zapota .....	32
Figura 4.7 Factor P para las cuencas Jipijapa y Zapotal .....	33
Figura 4.8 Obras ingenieriles en las cuencas Zapotal y Jipijapa .....	34
Figura 4.9 Pérdida de suelo anual de las cuencas Zapotal y Jipijapa .....	35
Figura 4.10 Órdenes de ríos principales y tributarios de las cuencas Zapotal y Jipijapa .....	36
Figura 4.11 Proyección porcentaje de pérdida para Jipijapa y Zapotal en 2055. ....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Condiciones para $\beta$ .....	19
Tabla 3.2 Factor P para zonas con prácticas de conservación en relación con el porcentaje de la longitud de la pendiente [Wischmeier y Smith, 1978] .....	20
Tabla 3.3 Factor de retención para obras ingenieriles .....	21
Tabla 4.1 Factor R promedio para todos los años analizados .....	26
Tabla 4.2 Clasificación Factor R (Fournier, 1960) .....	27
Tabla 4.3 Factor K para los tipos de suelos en las cuencas Zapotal y Jipijapa.....	29
Tabla 4.4 Factor C para cobertura vegetal de las cuencas Zapotal y Jipijapa .....	32
Tabla 4.5 Parámetros morfométricos de las subcuencas Jipijapa y Zapotal .....	37
Tabla 4.6 Índice de entrega de sedimentos según diferentes autores .....	39
Tabla 4.7 Volumen total de sedimentos transportados por las cuencas Zapotal y Jipijapa .....	40

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras representan un 80% de los destinos turísticos en el mundo, por lo que el manejo integral para la preservación de éstas es un tópico que se debe tratar en la actualidad, las playas ecuatorianas se ven expuestas a riesgo futuro de desaparición debido a que existe un desbalance en la relación transporte-sedimentación a lo largo de la costa, pero, ¿de dónde provienen estos sedimentos? los procesos geológicos relacionados con la erosión y sus agentes de transporte permiten la deposición de dicho material, siendo el flujo sedimentario que transportan los cauces fluviales y que desembocan en el mar el mayor aporte que recibe la zona litoral.

Los aportes sedimentarios provenientes de cuencas continentales están condicionados por la tasa de procesos erosivos a los que se encuentra sometida el área hidrográfica y esta a su vez depende de la morfometría, geología, edafología, clima, topografía e hidrología de las cuencas a estudiar (Ángel, 2005) , sin embargo, la degradación de las zonas costeras es inducida también por actividades antrópicas como la implementación de estructuras que generalmente sirven para acumulación de agua pero que a su vez el volumen de sedimentos se almacenan detrás de dichas obras ingenieriles modificando fuertemente los flujos sedimentarios del continente al mar actuando como barrera impidiendo el paso normal de los sedimentos que deben llegar a la plataforma continental para alimentar a las playas (Menoscal,2011).

Cuando las cuencas fluviales y los demás procesos de aporte no suman la cantidad suficiente de sedimentos y el nivel del mar sube genera mayor erosión por oleaje, no existe un tiempo de recuperación en donde el transporte abastezca a la playa para que exista sedimentación ocasionando la exhumación de la plataforma, un retroceso de la línea de costa creando un ambiente deficitario en las playas que podrían llevar a su desaparición. (Pedoja, et al; 2009).

En este proyecto se analizará los factores que conllevan a la erosión inicial, la capacidad de las cuencas Zapotal y Jipijapa para trasportar sedimentos y su relación con el drenaje de todo el material en las desembocaduras hacia el mar, evaluando la influencia de la

antropización en la retención de sedimentos que deberían llegar a la costa

### **1.1 Descripción del problema**

La sensibilidad de alteración que tienen las playas ecuatorianas al estar expuestas a factores que generen un desequilibrio en el tránsito costero principalmente a la erosión exhaustiva a las que se encuentran sometidas por modificaciones en la cantidad de flujos sedimentarios que llegan del continente al mar, conocer la cantidad de material que aporta los cauces fluviales permitirá establecer la influencia de las áreas hidrográficas en el balance sedimentario, la dirección del tránsito de los sedimentos, y su distribución en las desembocaduras hacia el mar.

Se utilizará la metodología USLE-RUSLE2 que evalúa cinco parámetros (erosión por lluvia, erodabilidad, topografía, cobertura vegetal y prácticas de conservación) para calcular la tasa de erosión anual con un rango de aporte de 38 años al analizar la variable de precipitación media mensual desde 1982 a 2020 a través de imágenes satelitales CHIRPS, se estimará el porcentaje de aporte de cada subcuenca del área de estudio hacia las costas mediante el índice de entrega de sedimentos evaluando rasgos morfométricos de las cuencas, finalmente se hizo una comparación de la entrega potencial de sedimentos con la real reflejando la afectación de las obras ingenieriles que no permiten el paso natural de los sedimentos hacia la plataforma.

### **1.2 Justificación del problema**

Analizar el comportamiento de una cuenca hidrográfica nos permite pronosticar cambios en el suministro de sedimentos hacia zonas costeras para cuantificar el aporte sedimentario potencial disponible costero, el cual permitirá identificar si los flujos sedimentarios actuales son suficientes para crear sistemas canalizados que permitan la prolongación desde la desembocadura del río hasta la plataforma continental, evidenciando con esto la acelerada erosión costera a la que se ve expuesta la zona de estudio.

Esto permitiría realizar una mejor planificación en la construcción de obras antrópicas que contribuyen a la problemática, así mismo permitiría prever variaciones en la línea de costa que afectarán a la planificación territorial que seguramente no ha considerado esta variable para sus asentamientos, es decir se podrían realizar mapas temáticos que



ayudarán a tomar medidas para gestionar y ejercer controles en la morfología costera y probablemente mantener el equilibrio en la línea de playa.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar el volumen de sedimentos transportados en las cuencas hidrográficas Jipijapa y Zapotal, analizando su capacidad de transporte y su aporte al balance sedimentario de las costas.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estimar la producción de sedimentos erosionados de las cuencas Jipijapa y Zapotal mediante el método USLE/RUSLE.
- Estimar el volumen de sedimentos transportados fluvialmente que llegan a la desembocadura de los ríos del área de estudio.
- Establecer relación de pérdida debido a la retención sedimentaria por actividades antrópicas.
- Identificar cuales subcuencas del área de estudio poseen mayor capacidad de transporte sedimentario que favorecen al tránsito costero.

### **1.4 Marco teórico**

#### **1.4.1 Parámetros físicos de la precipitación**

La influencia de la precipitación en procesos geológicos se basa en dos parámetros físicos medibles el volumen de agua que cae y la intensidad con la que lo hace, el registro de las mismas se hacen a través de estaciones meteorológicas y actualmente bases de datos mundiales que recopilan información en rasters e imágenes satelitales, así se pueden establecer tendencias mensuales y anuales dependiendo de la variabilidad de los eventos ocurridos (Bizzarri, 1999). La intensidad de lluvia es la variable que más intervención adopta a la hora de erosionar sedimentos, se define como la cantidad de precipitación que cae en un lugar en relación inversa a un lapso de tiempo específico medida en milímetros por unidad de tiempo, (INAMHI,2019).

### **1.4.2 ¿Cómo funcionan los ambientes fluviales?**

Un sistema fluvial es un medio dinámico y complejo que involucra procesos hidrológicos y geomorfológicos con el objetivo de la movilización del agua continental y de elementos sólidos como los sedimentos hasta desembocar en los océanos, el sistema se encuentra constituido por cuencas hidrográficas que se dividen en subcuencas y estas a su vez en ríos cuyos órdenes permiten jerarquizar la red de drenaje. Existen cuatro dimensiones que constituyen un hidrosistema: longitudinal que indica la dirección de avance de los ríos, transversal: todos los elementos interactuantes (paleocauces, brazos abortados llanuras de inundación, etc.), vertical: acuíferos y aguas subterráneas y temporal: los cambios a los que se ven expuestos antrópicos o naturales (Ojeda, 2007).

Dentro de un sistema fluvial se llevan a cabo tres procesos erosión, transporte y sedimentación que se explican como el medio de autorregulación de las cuencas hidrográficas en donde se interrelacionan los elementos de cada modelo fluvial, las riberas, que actúa como barrera y corredor de sólidos, la llanura de inundación lugar de almacenamiento sedimentos y ayudante de las recargas subterráneas y la zona hiporreica límite entre las aguas superficiales y las agua en el subsuelo (Horacio, et al, 2018).

### **1.4.3 Morfometría de una cuenca hidrográfica**

Los procesos a los que se ven sometidos las cuencas hidrográficas se ven condicionados fundamentalmente por su morfometría (Gaspari, et al, 2013)

#### **1.4.3.1 Área**

Proyección ortogonal de un sistema que escurren en el mismo cauce, siendo el espacio ocupado por toda el drenaje en  $k^2$ .

#### **1.4.3.2 Perímetro**

Longitud de la línea circundante a la cuenca hidrográfica, también llamada parteaguas

#### **1.4.3.3 Coeficiente de Gravelius**

Índice adimensional que identifica la forma de la cuenca en relación a una cuenca ideal circular, esta característica está relacionada con su capacidad de escorrentía, si  $K_c = 1$ -

1.25 es redonda, de 1.25-1.50 ovalada y 1.50-1.75 oblonga, mientras se acerque a 1 la cuenca está expuesta a sufrir crecidas debido a que su tiempo de concentración es bajo.

#### **1.4.3.4 Curva Hipsométrica**

Refleja la distribución de las vertientes de la cuenca según su altura en relación al nivel del mar, indica la estabilidad dinámica del sistema así como la etapa de desarrollo en la que se encuentra.

#### **1.4.3.5 Longitud del cauce principal**

Sumatoria de las longitudes de todos los drenes que confluyen en el río principal, entre más largo mayor respuesta hidrológica frente a la precipitación.

#### **1.4.3.6 Pendiente del cauce principal**

Desnivel medio del río principal factor condicionante de la velocidad del flujo en el transporte de sedimentos.

#### **1.4.3.7 Sinuosidad**

Refleja la curvatura del río, clasificados en (Figura 1.1) : rectos, en la realidad no existen sin embargo son considerados aquellos cuya sinuosidad es tan baja que se puede despreciar ( $S < 1,05$ ); entrelazados conformados por varios brazos secundarios que se cruzan entre sí formando bancos que representan los lugares de acumulación usualmente ( $1,3 < S < 2$ ) ; meandriforme también llamados serpenteantes asociados a disminución de pendiente porque la formación de meandros significa que el trayecto es mayor ( $S > 2$ ) (Rocha, 1998).



**Figura 1.1 Interacciones entre elementos y procesos hidrológicos y geomorfológicos en el sistema fluvial (Rocha, 1998).**

#### **1.4.4 Sedimentación**

Luego de que el material haya sido erosionado y transportado sucede la sedimentación, es decir la acumulación de material que ha sido depositado por diferentes procesos y agente geológicos, es necesario acotar que la topografía es un factor clave para la sedimentación pues las altitudes son consideradas como ambientes de erosión mientras que los valles u hondonadas son adecuados para acumular sedimentos.

En una cuenca hidrográfica este proceso se ve segmentado en tres etapas: la cuenca de recepción, en donde está el inicio de los ríos, predominan la erosión y la depositación de los elementos de mayor tamaño, el canal de desagüe el segmento central de la cuenca donde el transporte aumenta su velocidad y formación de la terraza aluvial mediante la erosión de material de ambos lados del río, y los conos de deyección en donde el relieve disminuye hasta planicies por lo que la erosión y transporte dejan de trabajar y comienza la acumulación de todos los materiales arrastrados desde las vertientes montañosas., este es considerado como el proceso geológico que más aporta a la sedimentación hacia el final de la desembocadura (Bustamante,2011).

#### **1.4.5 Balance sedimentario**

Las superficies de las zonas costeras se pueden ver afectadas en su extensión debido a los cambios temporales a los que se encuentran expuestos como procesos de erosión y acumulación parte de la dinámica fluvial de erosión, transporte y sedimentación siendo este el objetivo del balance sedimentario, establecer una relación cuantitativa del volumen de sedimentos que ha llegado a la costa en un período de tiempo determinado (Fontán, et al 200).

Para evaluarlo se debe tener a consideración tres aspectos: los de entrada, que son las fuentes de aporte sedimentario como los ríos, erosión de acantilados, material eólico, los de salida que los sustraen como el transporte transversal, cañones submarinos y los procesos convectivos como las corrientes por oleajes, de marea y transporte eólico que se encargan de la distribución del material hacia lo largo de la costa (Maia, 1998).

Los flujos fluviales son considerados el mecanismo principal en la distribución de volumen sedimentario hacia las costas y el mar, el trayecto de material se realiza en el

fondo de los cauces por saltación, deslizamiento y rodación, este proceso se ve influenciado directamente por rasgos morfométricos de la cuenca de drenaje como su área, relieve y temperatura, sin embargo el aporte de ríos puede verse afectada al alterarse el caudal del río por medios físicos como variación climática, fenómenos de precipitación como el del El Niño y por acciones antrópicas como presas, dragado o explotación pétreo que afectan la capacidad fluvial de descarga (Ángel, 2005).

#### **1.4.6 ¿Cómo afecta la antropización en el balance sedimentario?**

Desde los años 90 la intensificación de actividades como el agresivo desarrollo urbano la agricultura, acuicultura, explotación de recursos pétreos y acumulación de agua han ocasionado que se creen métodos ingenieriles o empíricos que si bien ayudan a las actividades mencionadas, su uso excesivo ha ocasionado la disminución de sedimentos transportados al sistema litoral desequilibrando la sedimentación de la playa y que con la subida del nivel del mar debido al cambio climático se ha evidenciado como uno de los factores que contribuyen a una acelerada erosión costera (Serrato, et al,2013).

Estas construcciones modifican la función hídrica al erosionarse comúnmente la parte vertical del lecho estabilizando el flujo hidrológico haciendo que el canal pierda amplitud cambiando su configuración de drenaje limitando su capacidad de transporte.

##### **1.4.6.1 Represa**

Obra ingenieril de hormigón y cemento armado utilizada para acumular agua o desviar un cauce fluvial, utilizada usualmente en la generación de energía hidroeléctrica.

##### **1.4.6.2 Dique**

Obra empírica o ingenieril que actúa como barrera del paso de agua, construido transversalmente al cauce fluvial con distintos materiales como tierra, material pétreo u hormigón.

# CAPÍTULO 2

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.1 Ubicación geográfica y política

La cuenca hidrográfica de Jipijapa se ubica al sur-occidente de la provincia de Manabí en las costas de Ecuador (Figura 2.1), nace en el río Caña y sus tributarios desembocan en Puerto Cayo, tiene un área de 2800 k<sup>2</sup> y limita al norte con el sistema Cerro Corralitos-Cuchilla, al sur el sistema montañoso de Crucita, al este la cordillera de Balzar y al oeste con el Océano Pacífico (Chuim, 2020).

La cuenca hidrográfica de Zapotal constituye un fragmento de la zona costera de la provincia de Santa Elena, emplazada en la península del mismo nombre limitando al norte con la cuenca del Río Javita, con el estuario guayasense y el golfo de Guayaquil al sur y este respectivamente, al oeste con la comunidad de San Vicente (Figura 2.1); cuenta con un área de 5600 k<sup>2</sup> (Veloz, 2016).

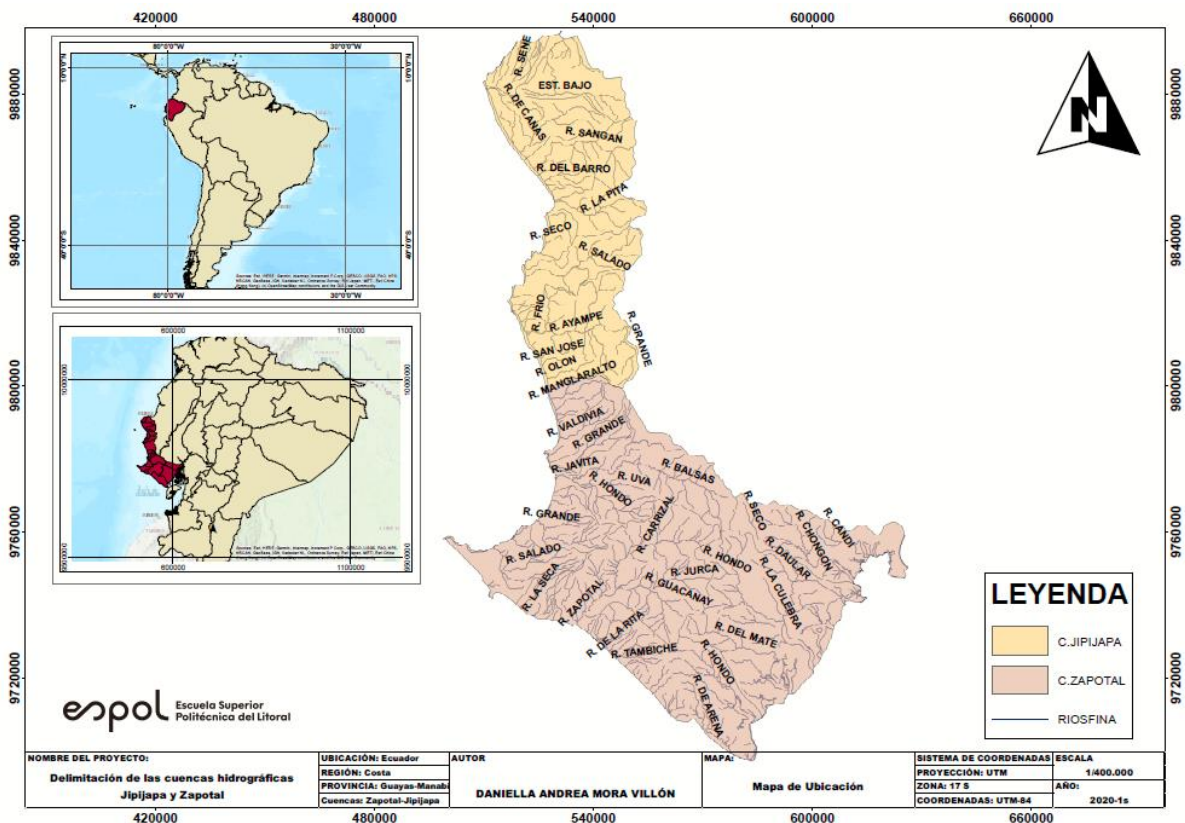


Figura 2.1 Mapa de la zona de estudio, Cuenca de Zapotal y Jipijapa.

## **2.2 Geomorfología**

Reconocida como una zona costera de 350 k la cuenca Jipijapa está conformada por la cordillera Chongón Colonche, elevaciones de suaves pendientes las cuales en conjunto alcanzan alturas de aproximadamente 700 m, entre ellas se destacan los cerros de Canoa y Jama, posee bahías como Caráquez, Cojimíes y Crucita, etc.; cabos como San Mateo y San Lorenzo; ensenadas como la de Jama, Crucita, Cayo; también es importante resaltar las Islas de la Plata y Salango; geomorfológicamente se puede describir a esta zona como una hondonada con elevaciones circundantes convergiendo en ella varios drenajes en el río Jipijapa.

Zapotal presenta una morfología irregular con elevaciones máximas de 420m en donde predominan la cordillera Chongón- Colonche, y cerros de baja pendiente como los son Chanduy-Estancia, hacia la parte interna de la cuenca se da una disminución abrupta de la topografía donde existe el valle del río Zapotal y llanuras de pendiente baja (40m), finalmente al este de la zona existen levantamientos de 100m de cota el área constituye parte de la meseta costera (Soledispa, 2009) la cual es resultado de los procesos erosivos por agentes externos como lo son el agua y el viento.

## **2.3 Cuencas hidrográficas**

La cuenca de Jipijapa se desarrolla entre cadenas montañosas, la cordillera de Balzar e Interoceanica en donde cruza el río del mismo nombre que es a su vez el cuerpo de agua más importante, atraviesa el área urbana con 3.5% de pendiente en promedio siendo sus principales tributarios en cuenca alta Los esteros, La Pita y Matapalos, la cuenca media que cruza un cañón de 14 km recibiendo aportes de los esteros Rianton y El Altar, durante la época lluviosa se da un exceso de escorrentía que ocasiona inundaciones y en la seca los ríos disminuyen su cauce a 1 m<sup>3</sup> existiendo déficit de agua (Cedeño, et al; 2011).

Para Zapotal, sus principales ríos direccionados de este a oeste son Verde, Azúcar, Seco, Campaña y San Rafael que convergen a el río Zapotal afluente principal de esta cuenca que abastece de agua consumible al área urbana, es considerada una cuenca de drenaje dendrítico intermitente (Rodríguez, 2014) ya que la mayoría del tiempo anual debido al clima no generan afluencia superficial, es decir lo forman ríos de poca

profundidad y trayecto originados en la cordillera Chongón Colonche y que desembocan en el Océano pacífico.

## **2.4 Marco Geológico**

A través de la información obtenida del Instituto de investigación Geológico y Energético (IGE) en la hoja geológica de Jipijapa se ilustra la secuencia sedimentaria que la constituyen; las formaciones, Cayo: conformada por brechas volcánicas intermedias a básicas en la base, inferiormente con areniscas tobáceas verdosas y wacke al tope con argilitas y pedernal; San Mateo: areniscas finas a medias de ambiente marino somero presenta ripple marks intercalados con conglomerados, andesitas, cherts; Tosagua: lutitas grises con intercalaciones de arcillas y arenas; Angostura: ambiente de transgresión en su base está formado por conglomerado y avanza con areniscas de diferentes tamaños; Borbón: areniscas gruesas con gran cantidad de mega fósiles de ambiente marino, terrazas, depósitos aluviales y coluviales (Duque,2000).

Geológicamente la cuenca Zapotal posee una sedimentación acentuada que se extiende hasta la plataforma continental del golfo de Guayaquil, dentro del territorio yacen dieciséis unidades geológicas pertenecientes a tres períodos, las formaciones más jóvenes de período cuaternario edad Pleistocénica y Holocénica las cuales son Tablazo: de ambiente mar abierto la conforman brechas compactadas con cemento calcáreo, micro-conglomerados, areniscas calcáreas finas y gruesas; acumulados principalmente en los drenajes y distribuidos a lo largo de todo el territorio se encuentran los depósitos coluviales-aluviales; depósitos aluviales litología predominante en la cuenca Zapotal constituida por arcillas, limos con intercalaciones de arenas de grano fino ubicados en los valles fluviales

## **2.5 Estructuras Geológicas**

En relación con las estructuras activas se encuentra la falla Jipijapa que rodea las colinas costeras del osete y cuyo basamento se encuentra levantado (Eguez, et al;2003) aquí se relaciona con el grado de levantamiento costero al que se encuentra sometido la cuenca de Jipijapa corresponde al bloque central de la costa ecuatoriana incluye cinco terrazas preservadas de pendientes bajas orientadas hacia el sur que alcanzan una



altura máxima de 360 y que debido a la subducción de la cordillera de Carnegie está sometida a un levantamiento en promedio de 0.30 mm/año (Pedoja, et al; 2009).

La cuenca tectónicamente está condicionada por la falla de La Cruz de edad neógena que presenta actividad microsísmica y la falla Chanduy paralela a las costas del golfo de Guayaquil (Eguez, et al;2003) incide directamente en la secuencia de tres terrazas escalonadas y falladas que presenta la zona en donde se materializa el levantamiento costero al que se encuentra también sometida, alcanzan elevaciones de 15,35 y 80 m bajo un régimen de levantamiento de entre 0.07 y 0.10mm/año (Pedoja, et al; 2009).

## **2.6 Hidrogeología**

Jipijapa está asentada sobre depósitos de formaciones terciarias y cuaternarias: la formación Cayo y depósitos aluviales establecidos por arcillas y arenas de poca consolidación resultado erosivo de los Andes, la cual conforma la planicie del área y las riberas de los principales ríos, estas presentan usualmente alta permeabilidad que permite la acumulación de agua proveniente de la precipitación y la infiltración de los ríos.

La cuenca de Zapotal tiene los sinclinales de Progreso y San Antonio que actúan como trampas que retienen el drenaje evitando su paso aguas abajo, la parte de cuenca baja está altamente fallada, compuesta por litologías como lutitas, arenas y arcillas, al este donde existen precipitaciones más altas existen pozos para uso doméstico (Aspiazu,1981). Debido a condiciones ya mencionadas como variable pluviosidad, evapotranspiración elevada y litologías no favorables no existe potencial de grandes acumulación de volúmenes de agua.

## **2.7 Meteorología**

Con datos meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se ha analizado que la temperatura en la cuenca Jipijapa se encuentra en un rango de 24° a 29° siendo este un clima tropical mega térmico semi-árido con lluvias moderadas con una precipitación de entre 200 y 300 mm, estas lluvias se dan predominantemente es los meses de Enero a Mayo siendo consideradas como estacionales debido a que su ocurrencia está relacionada con el calentamiento provisional del océano pacífico en las costas ecuatorianas durante épocas anómalas intertropicales como el evento de El Niño

o La Niña y los demás meses del año se consideran secos con muy baja pluviosidad, el viento influenciado por la corriente de Humboldt durante los meses de agosto y septiembre alcanzan las velocidades más altas 2.8 m/s (Engelbertz, et al; 2015).

Las condiciones climáticas presentes en el área de Zapotal se ve influida por tres factores condicionantes: las corrientes de Humboldt (fría) y El Niño (cálida), y la concurrencia intertropical de la zona, siendo un clima ecuatorial tropical megatérmico seco con temperaturas en rangos de 24°C a 30°C con precipitaciones ascendentes, es decir en la puntilla de Santa Elena se dan lluvias que acumulan menos de 200 mm/año y hacia el este suben llegando a 500 mm las cuales se generan durante solo un período de meses (enero a abril) y los demás presentan sequía (mayo a diciembre) aquí existe una alta evapotranspiración que impide la infiltración de agua para alimentar a los acuíferos.

## **2.8 Erosión Costera**

En la zona de estudio existe una posición retirada del acantilado por lo tiene baja probabilidad a la erosión debido a la presencia de la zona de playa que separa ambos elementos esto refleja que existe un equilibrio suficiente entre el aporte de sedimentos por transporte a lo largo de la costa.

En cuanto a la erosión de esta área se encuentra en gran relación con el levantamiento costero moderado siendo este un margen estable, es decir tiene la capacidad de reocupación de las costas durante los períodos interglaciares, sin embargo cuando existen aumentos en el nivel del mar existe más erosión porque además del proceso de re trabajo de las olas los acantilados son bajos, con alta verticalidad fallados, muy inestables y por ende muy erosionables (Soledispa, 2009).

# CAPÍTULO 3

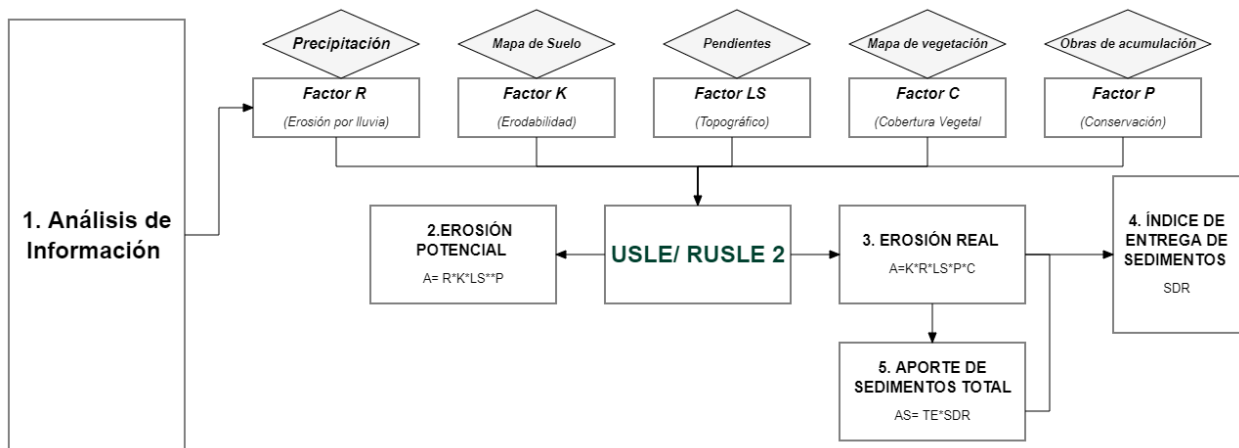
## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Diseño Conceptual

La estimación de erosión es esencial para evaluar la capacidad de las cuencas hidrográficas para entregar sedimentos a la costa, y que por diferentes factores tanto naturales como antrópicos perjudica el balance sedimentario en zonas costeras; para evaluarla existe la Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE), por sus siglas en inglés. El USLE/RUSLE es un método empírico que utiliza parámetros experimentales, desarrollado en el Centro Nacional de Datos de Escorrentía y Pérdida de Suelo permite estimar la pérdida anual del suelo englobando de manera eficaz la comprensión de principios básicos sobre sedimentación y erosión que da como resultado un modelo capaz de predecir pérdidas de suelo y permitiendo comprender los factores que conllevan a dicha problemática (Wischmeier y Smith, 1978).

Se escogió el método de USLE-RUSLE2 pues corresponde al modelo más actual, verificado y más utilizado en casos de estudios mundiales en donde se generan estimaciones con temporalidades largas en cuanto a la pérdida de suelo, además es considerado adecuado porque la zona de estudio posee pendientes medias a bajas; según (Tiwari, et al; 2000) este modelo tiene una efectividad del 80% y 72% respectivamente, por lo que se combinó la tecnología de predicción con procesos empíricos obteniendo resultados útiles para el proyecto como la distribución de sedimentos en los cauces fluviales. (Ismail, y Ravichandran, 2008).

Para evaluar el desgaste costero del área de estudio seleccionada se estimó la pérdida de suelo debido a la cantidad erosionable de sedimentos en los cauces fluviales de las cuencas Zapotal y Jipijapa mediante el cálculo de 1) volumen de material transportado y 2) cuantificación de aportes sedimentarios por cada cauce principal, 3) comparación de la Erosión Potencial (EP) y de la Erosión Actual (EA) por año de evaluación, es decir desde los años 1982-2020, ver Figura 3.1.



**Figura 3.1 Metodología para la cuantificación de sedimentos transportados.**

El índice de entrega de sedimentos se refiere a la cantidad fraccionada que ingresa a los cauces fluviales (salida) desde la erosión inicial (fuente) en un intervalo de tiempo específico, es decir la capacidad que tiene una cuenca para transportar sedimentos hasta su entrega, esta fase es controlada por elementos naturales como la pendiente del cauce, las partículas de sedimentos, cobertura de suelo y también por condiciones antrópicas como la construcción de embalses, humedales y estanques que acumulan sedimentos aguas arriba afectando en el orden natural de tránsito de sedimentos hasta la desembocadura (Gelagay,2016).

## 3.2 Datos y Programas

### 3.2.1 Imágenes satelitales climáticas

Las imágenes CHIRPS (Climate Hazards group infrared precipitation with stations) pertenecen a una base de datos de precipitaciones diarias y mensuales mundial de alta resolución (0.05°) desplegada como un servicio gratuito por la Agencia Estado Unidense de desarrollo internacional de la red de sistema de alerta temprana contra la hambruna en conjunto con científicos de EROS y de la USGS con el fin de detectar anomalías y tendencias en el monitoreo de las lluvias y cambio ambiental (Funk, et al, 2015).

Estos datos son incorporados de información otorgada por GriSat (Globally Grides Satellite) de 1981 a 2008, conjuntos de datos de NOAA21 (centro de predicción climática)

(2008-presente) y por las instituciones meteorológicas de los países involucrados, el proceso que utiliza se basa en la combinación de un algoritmo de ponderación inversa que usa un promedio ponderado de las cinco estaciones más cercanas para valorizar cada píxel (Funk, et al, 2015).

### **3.2.2 Modelo de elevación Digital**

Las superficies terrestres con sus elevaciones se pueden representar digitalmente con un raster obtenido de sensores remotos, el ASF (Alaska Satellite Facility) con el satélite ALOS PALSAR de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) es uno de los proyectos que proporcionan estos datos gratuitamente a su comunidad de usuarios, presentando estos modelos con extensión TIFF y con resoluciones de 6.25 y 12.5 metros compatibles con los sistemas de información geográfica (Roa, 2019)

### **3.2.3 Sistemas de Información Geográfica (GIS)**

Fusión entre datos físicos con el software diseñado para analizar, modelar y representar elementos espaciales georreferenciados focalizados en resolver irregularidades en planificación territorial, gestión de recursos, demografía, planimetría mediante el análisis, almacenamiento y procesamiento de imágenes satelitales en formato raster u objetos vectoriales, específicamente en la hidrografía permite modelar pendientes, dirección y acumulación de flujos de cuencas hidrográficas, generando mapas temáticos en relación a dicho tópico (Eastman, 2006).

### **3.2.4 IDRISI Selva 17.0**

Software de análisis geoespacial con el objetivo de monitorear y modelar procesos ambientales y terrestres del planeta a través del análisis de datos espaciales y detección remota incluyendo herramientas de sistemas de información geográfica análisis de superficie con aplicaciones de modelaje y estadística, utilizada por profesionales para el óptimo mapeo de cobertura terrestre y gestión de problemas relacionados con el medio ambiente para evaluar uso de tierra, vulnerabilidad y planificación.

IDRISI fue desarrollado en 1987 por Ronald Eastman del departamento de Geografía de la Universidad de Clark, Massachusetts, la versión Selva 17.0 fue desarrollada en enero del 2012 donde se incluyeron aplicaciones del manejo integral de recursos naturales facilitando predicciones de los mismos, también el Centro de Recursos Idrisi-México

desarrolló la extensión manejo integral del agua en donde se evalúa la erosión y sedimentación de cuencas hidrográficas y su capacidad de entrega. (Clark University, 2015)

### 3.3 Métodos

#### 3.3.1 Análisis de Información

La primera etapa está destinada a la búsqueda información base, necesaria para llevar a cabo las siguientes etapas, con ésta se adquiere datos cartográficos, geomorfológicos, pluviométricos, edafológicos, climáticos, tipología de suelo y cobertura vegetal de la zona de estudio provenientes de:

- Modelo de Elevación Digital de las cuencas Zapotal y Jipijapa.
- Mapas de precipitación mensuales mundiales en formato Rasters desde 1982 a 2020 obtenidos de CHIRPS.
- Delimitación de las cuencas en formato vectorial, generadas por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA)
- Mapa Digital de los suelos del Ecuador (MAGAP)
- Carta Salinas y Jipijapa de paisajes vegetales y uso actual, realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP).

#### 3.3.2 Cuantificación del aporte sedimentario

El modelo USLE/RUSLE2 sigue (3.1):

$$A = R * K * LS * C * P \quad (3.1)$$

Donde:

$$A = \text{Pérdida anual del suelo} \left[ \frac{T}{ha * \text{año}} \right]$$

$$R = \text{Factor de erosividad} \left[ \frac{MJ * mm}{ha * h * \text{año}} \right]$$

$$K = \text{Factor de erodabilidad del suelo} \left[ \frac{Tm^{**}h}{MJ*mm} \right]$$

$$LS = \text{Factor Topográfico} [m]$$

$$C = \text{Factor de cobertura vegetal}$$

$$P = \text{Factor de prácticas de conservación}$$

### 3.3.2.1 Erosividad por la lluvia (R)

Representa el impacto de la precipitación en la erosión de los cauces fluviales, se requiere los efectos acumulativos de precipitaciones medias y severas registradas en la zona y parámetros físicos en relación a la intensidad, duración, y velocidad de las lluvias ocurridas (Wischmeier y Smith, 1978).

De las imágenes CHIRPS se obtuvo la precipitación mensual del período de retorno de puntos ubicados cada 12.5 m de la zona de estudio, se calculó con (3.4) el índice de Modificado de Fournier también conocido como el índice por agresividad por lluvia, y con esto se calculó R con la ecuación de Arnoldous (3.3) finalmente mediante el álgebra de mapas (3.2) y con rasters con tamaño de celda 12.5 mx12.5 m se hizo un promedio de la evolución de los factor R desde 1982-2020.

$$R = \sum \left[ \frac{R_m}{N} \right] \quad (3.2)$$

$$R_m = 2.56 * (IMF^{1.065}) \quad (3.3)$$

$$IMF = \frac{p^2}{P} \quad (3.4)$$

Donde:

$R_m$  = Factor de erosividad anual

$N$  = Número de años analizados

$IMF$  = Índice modificado de Fournier

$p$  = Precipitación media mensual

$P$  = Precipitación media anual

### 3.3.2.2 Erodabilidad (K)

Indica la susceptibilidad del suelo a erosionarse la cual se identifica en base a propiedades intrínsecas del terreno que permiten clasificarlos en valores cuantitativos que reflejan la tasa de pérdida de suelo por unidad (Ramírez, 2010).

Con el mapa de la taxonomía de suelos otorgado por MAGAP y con Arcgis 10.5 se realizó una máscara con la información concerniente a la zona de estudio, en la base de datos otorgada por la FAO de acuerdo al tipo de suelo se encontró el porcentaje de arcilla, arena, limo y materia orgánica de cada tipo de suelo; con las ecuaciones (3.6), (3.7), (3.8), (3.9) se obtuvieron los elementos para calcular K con (3.5), se rasterizó dicho shape y reclasificó con los valores correspondientes a cada tipo de suelo.

$$K = 0.1317 * f_{csand} * f_{cl-si} * f_{m.o} * f_{hsand} \quad (3.5)$$

$$f_{csand} = (0.2 + 0.3e^{(-0.0256m_s(1-\frac{m_{silt}}{100})})} \quad (3.6)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_{cl}+m_{silt}}\right)^{0.3} \quad (3.7)$$

$$f_{m.o} = \left[1 - \frac{0.25m_o}{m_o + e^{3.72-2.95m_o}}\right] \quad (3.8)$$

$$f_{hsand} = \left[1 - \frac{0.70\left(1-\frac{m_{silt}}{100}\right)}{\left(1-\frac{m_{silt}}{100}\right) + e^{-5.51+2.29\left(1+\frac{m_{silt}}{100}\right)}}\right] \quad (3.9)$$

Donde:

$$f_{csand} = \text{Contenido de arena}$$

$$f_{cl-si} = \text{Contenido de limo y arcilla}$$

$$f_{m.o} = \text{Contenido de materia orgánica}$$

### 3.3.2.3 Factor topográfico (LS)

Se considera la longitud y grado de pendiente en donde fluyen los cauces, dando a notar la influencia del relieve en la pérdida de los suelos, L está descrito como la distancia existente entre el punto de inicio del flujo y la parte final de la misma (Wischmeier y Smith, 1978); S es considerado como uno de los factores más condicionantes para la erosión que incrementa cuando la pendiente es escarpada (Mihi, et al; 2020).

Se realizó un mapa de pendientes con la herramienta "Slope" partiendo del modelo de elevación digital del terreno cargado en Arcgis 10.5 para operar (3.13), con este mismo raster se obtuvo (3.12), se calculó también la dirección y acumulación del flujo con las herramientas "Flow direction" y "Flow accumulation" haciendo correcciones con la herramienta "Fill Sinks" para (3.11), para S se tomó una condicional durante el álgebra de mapas ilustradas en la Tabla 3.1, extrayendo el raster final del factor LS con (3.10)



$$LS = L * S \quad (3.10)$$

$$L = \frac{[A+D^2]^{(m+1)} - A^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m} \quad (3.11)$$

$$m = \frac{F}{1+F} \quad (3.12)$$

$$F = \frac{\frac{\sin \beta}{0.0896}}{3(\sin \beta * 0.01745)^{0.8} + 0.56} \quad (3.13)$$

Donde:

$\beta$  = Pendiente a nivel de píxel (radianes)

A = Acumulación del flujo a nivel del píxel

D = lado de píxel

x = Coeficiente de forma; (x = 1 para sistemas pixeleados)

**Tabla 3.1 Condiciones para  $\beta$**

FACTOR S	
Condición	Fórmula
Tan( $\beta$ ) < 0.09	S= 10.8 sin ( $\beta$ ) + 0.03
Tan( $\beta$ ) $\geq$ 0.09	S= 16.8 sin ( $\beta$ ) -0.5

### 3.3.2.4 Factor de Cobertura Vegetal (C)

La vegetación actúa como un medio natural protector ante procesos de erosión al disminuir la exposición a la que se encuentran los suelos luego de recibir el impacto directo de la precipitación (Ramírez, 2010); este factor se obtiene de tablas ya establecidas dentro del modelo USLE/RUSLE2 basados en conclusiones a partir de muestras tomadas en campo de suelos desnudos y sin obras de acumulación de sedimentos, las cuales se muestran en el Apéndice A.17.

Se digitalizó las cartas Salinas y Jipijapa de paisaje vegetal y uso actual teniéndolos en formato vectorial dentro de la tabla de atributos se asignó el valor de C anexadas en la Tabla 4.4., se transformó en formato raster utilizando dicha columna como dato de importancia.

### 3.3.2.1 Factor de Conservación (P)

Directamente relacionado con el efecto que tienen las prácticas ingenieriles o mecánicas en la pérdida de sedimentos transportados hacia la zona costera; estas obras tienen como objetivo disminuir la velocidad del agua y causar por ende la reducción de la cantidad de sedimentos transportados por los cauces fluviales tanto en pendientes ascendentes como descendentes (Tiwari, et al; 2000).

Se necesitó el mapa de pendientes ya creado previamente para P, se reclasificó los porcentajes de pendientes de acuerdo a la Tabla 3.2, se convirtió el raster a polígono con el fin de asignar en la tabla de atributos el valor de P que se encuentra en el mismo apartado a cada polígono y se realizó un raster final con los datos correspondientes.

**Tabla 3.2 Factor P para zonas con prácticas de conservación en relación con el porcentaje de la longitud de la pendiente [Wischmeier y Smith, 1978]**

VALOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN		
Porcentaje de Pendiente	Valor P	Largo máximo
1 a 2	0.60	400
3 a 5	0.50	300
6 a 8	0.50	200
9 a 12	0.60	120
13 a 16	0.70	80
17 a 20	0.80	60
21 a 25	0.90	50

### 3.3.2.2 Factor de Retención (T)

Para evaluar la influencia de la antropización en la pérdida de sedimentos se adicionó a los factores actuantes en la pérdida de suelos a este factor en donde se consideró las principales obras ingenieriles presentes en el área de estudio además de la urbanización y las camaroneras como construcciones de retención de sedimentos a cada uno se le otorgó un valor siendo 1 un nivel de retención bajo y 0.4 alta retención, en la Tabla 3.3 se ilustra el factor para cada caso, se convirtió en Raster para después utilizarlo en el álgebra de mapas.

**Tabla 3.3 Factor de retención para obras ingenieriles**

<b>FACTOR DE RETENCIÓN</b>	
Obra	T
Dique	0.5
Represa	0.5
Camaronera que atraviesa cauce fluvial	0.4
Camaronera que no atraviesa cauce fluvial	0.7
Zonas Urbanas	0.8
Sin obra	1

Se otorgó lo valores de más alta retención a los diques, represas y canales en las camaroneras pues intervienen con mayor alcance en la retención de sedimentos debido a que son consideradas como trampas sedimentarias en donde se acumulan sedimentos aguas arriba y al salir sin contenido de material aguas abajo el río fluye sin aporte sedimentario y socavando el lecho del río.

### **3.3.2.3 Pérdida de Suelo Anual potencial y real (A)**

Finalmente el mapa de pérdida de suelo potencial por erosión anual se obtuvo mediante el álgebra de mapas con cada capa siguiendo (3.2), así mismo para la erosión real se consideró el factor de retención.

### **3.3.3 Distribución hidrológica de los sedimentos**

#### **3.3.3.1 Transporte de los sedimentos en la cuenca hidrográfica**

El suelo total erosionado no refleja el volumen total de sedimentos transportados por la cuenca hidrográfica, la tasa de entrega de sedimentos (SDR) relacionada la erosión de la cuenca y el rendimiento de los sedimentos transportados fluvialmente. Se han desarrollado desde 1950 varias relaciones empíricas en donde influyen básicamente seis factores: hidrología, relacionados a los eventos de pluviosidad la cual impulsa el transporte; topografía, la pendiente empinada transportará mayor material que pendientes plana; forma: una cuenca estrecha transporta mayor cantidad que una ancha;

geomorfología, la compacidad y relación ancho-largo son indicadores en la capacidad de transporte y el área, en general tiene relación inversa (Wu, et al, 2018).

Para su desarrollo se utilizó el programa IDRISI Selva 17.0 y su extensión de manejo integral de cuencas hidrográficas para calcular los parámetros morfométricos, se escogió cuatro ecuaciones empíricas para obtener un óptimo resultado de acuerdo al área de estudio.

### 3.3.3.2 Roehl, 1962

Relación obtenida de trabajos realizados en las cuencas del suroeste de estados unidos en regiones de piedemonte, apta para zonas de precipitaciones concentradas en cuencas hidrográficas medias a pequeñas, ver (3.14.1) (Wu, et al, 2018).

$$\text{Log SDR} = 4.5 - 0.23 \log 10 A - 0.51 \log (L/R) - 2.79 \log B \quad (3.14.1)$$

Donde:

$$\frac{L}{R} = \frac{\text{Pendiente del cauce principal}}{\text{Elevación media de la cuenca}}$$

$$B = \frac{\text{Longitud de cauce}(km)}{\text{Área de drenaje}(km^2)}; \text{densidad de drenaje}$$

### 3.3.3.3 Williams and Berndt, 1972

Extraída de estudios en Brushy Creek, cuenca hidrográfica en Estados Unidos a partir de modificar la ecuación universal de pérdida de suelo y usando una regresión lineal que mostró que la característica que más influye en la entrega de sedimentos es la pendiente del canal principal (3.14.2), presentándolo como un modelo de rendimiento útil para el diseño de depósitos y estudios hidrográficos (Williams & Berndt, 1972).

$$SDR = 0.627 * SLP^{0.403} \quad (3.14.2)$$

Donde:

$$SLP = \text{Pendiente del río de mayor orden expresada en porcentaje}$$

#### 3.3.3.4 Mou y Meng, 1982

Fórmula empírica desarrollada a partir del estudio de la cuenca del río Dalí, se necesita la densidad de drenaje de la cuenca y su área (3.14.3), al utilizar estos factores se considera universalmente aplicable y debe ser evaluado dependiendo de las condiciones locales (Jinze & Qingmei 1982)

$$SDR = 1.29 + 1.37 \ln Re - 0.025 \ln A \quad (3.14.3)$$

Donde:

$$Re = \frac{\#cauces}{\text{Área de drenaje (km}^2\text{)}}; \text{densidad de canal}$$

$$A = \text{Área de drenaje de la cuenca (km}^2\text{)}$$

#### 3.3.3.5 Diodato and Grauso, 2009

Ecuación probada en once cuencas alrededor del mundo (3.14.4) con características similares entre ellas superficie en un rango de entre 570 a 3000 Km<sup>2</sup>, con medias de precipitación anual de 450 a 1600 mm, es decir climas semiáridos a húmedos con geomorfología variada, desde penínsulas y cadenas montañosas de pendientes moderadas (Diodato & Grauso, 2009).

$$SDR = 0.416 [A^{0.5}(500 - E^{0.5})(S^2)(P^{-0.5})]^{-0.422} \quad (3.14.4)$$

Donde:

$$A = \text{Área de drenaje de la cuenca (km}^2\text{)}$$

$$E = \text{Elevación media de la cuenca (m)}$$

$$S = \text{Pendiente media de cuenca } \left(\frac{m}{m}\right)$$

$$P = \text{Precipitación anual de la cuenca (mm)}$$

Por otra parte es necesario saber el volumen de sedimentos que llega a la parte más baja del río donde se sedimenta y alimenta las playas, para esto se utilizó (3.15) que produjo la relación la producción de sedimentos que aportan los cauces fluviales pertenecientes a una cuenca específica con la erosión hídrica en el área.

$$AS = TE * SDR \quad (3.15)$$

Donde:

*TE = Cantidad de material erosionado*

*SDR = Índice de entrega de sedimento*

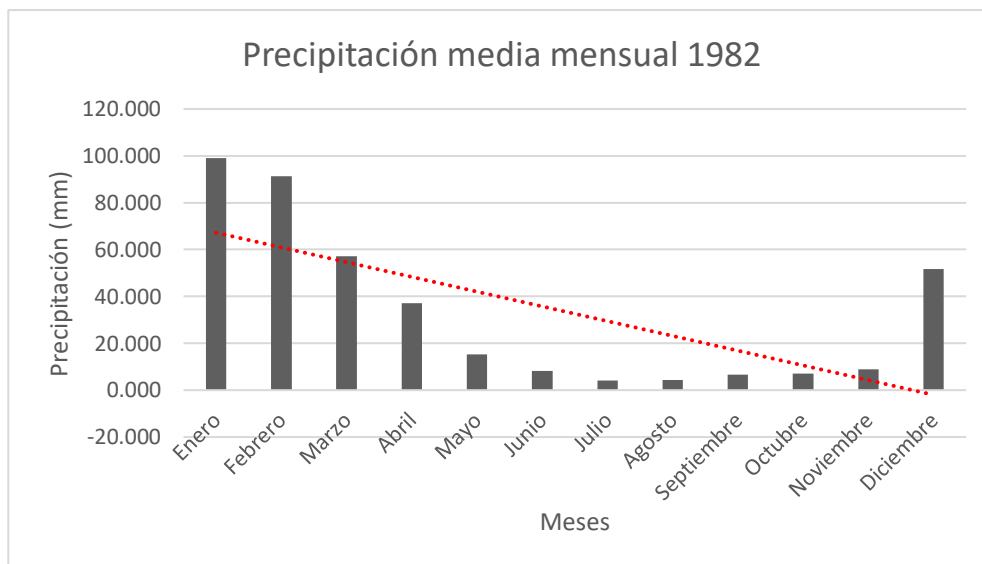
# CAPÍTULO 4

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Cuantificación del aporte sedimentario

#### 4.1.1 Erosividad por la lluvia (R)

De las imágenes CHIRPS se obtuvo la precipitación media mensual por cada año de puntos ubicados en la zona de estudio; en la Figura 4.1 se muestran las precipitaciones media mensuales de 1982, donde se determinó el mes más lluvioso del año como marzo con 98.93 mm en el mes, aplicando (3.4) se obtuvo el índice de Fournier para cada punto clasificadas en bajo (0-90), moderado (90-120), alto (120, >160) a su vez con (3.3) se calculó el factor Rm clasificado así mismo en bajo (0-50) con presencia en toda la parte este de la zona, moderado (50-500) en sur-oeste y alto (>1000) en noreste y península de Santa Elena, se utilizó la interpolación Spline para generar R para este año.



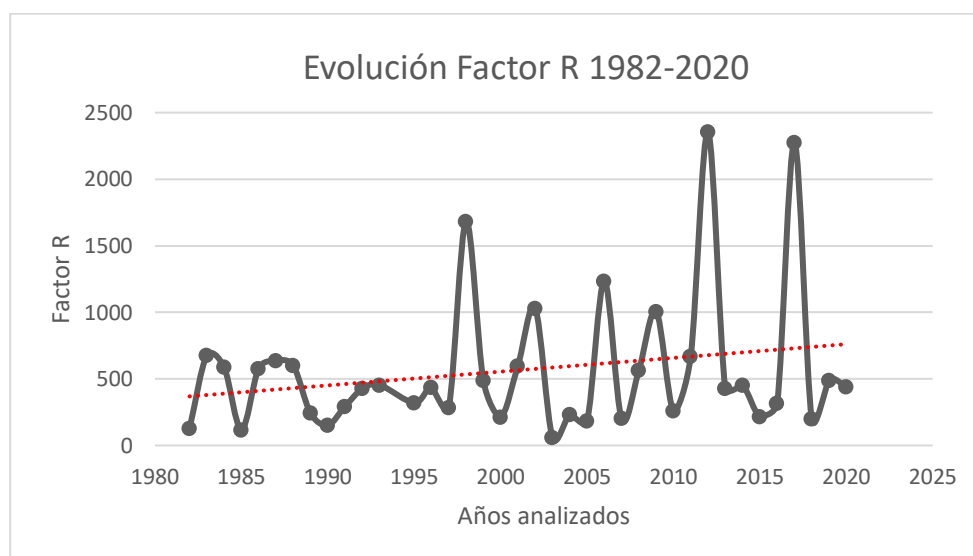
**Figura 4.1 Precipitación media mensual de 1981.**

En la Tabla 4.1 se muestra los factores R para cada año analizado, se ilustró su comportamiento la Figura 4.2 donde se muestra la relación de este factor en cada año analizado, los años con mayor erosión de sedimentos debido a la cantidad de precipitación anual existentes son 1998,2012 y 2017, también la línea de tendencia

muestra un aumento de arranque de material debido a este proceso. Se analizó los 37 años de información, se obtuvo R utilizando (3.2) con álgebra de mapas, generando un mapa final de erosividad por precipitación, la clasificación utilizada se basa en Fournier (1960) expuesta en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.1 Factor R promedio para todos los años analizados**

EROSIONABILIDAD DE LOS AÑOS DE ESTUDIO			
AÑO	FACTOR R PROMEDIO	AÑO	FACTOR R PROMEDIO
1982	128.6311	2002	1029.71604
1983	674.980302	2003	58.8892214
1984	586.973602	2004	233.637746
1985	116.697604	2005	182.255054
1986	578.522212	2006	1234.59754
1987	637.278131	2007	202.035821
1988	600.086903	2008	564.250292
1989	242.322429	2009	1006.90875
1990	152.691893	2010	260.052153
1991	293.376449	2011	670.609441
1992	426.472221	2012	2355.32371
1993	454.13627	2013	429.648915
1995	320.368369	2014	451.451648
1996	434.784833	2015	217.117964
1997	285.592648	2016	314.982304
1998	1683.5866	2017	2274.17164
1999	487.550991	2018	201.628254
2000	212.400032	2019	489.334678
2001	598.558564	2020	441.126181



**Figura 4.2 Precipitación media mensual de los años analizados (1982-202)**



Tabla 4.2 Clasificación Factor R (Fournier, 1960)

EROSIVIDAD POR LLUVIAS	
FACTOR R	CLASIFICACIÓN
0-290	MUY BAJO
290-550	BAJO
550-1000	MODERADO
1000-2000	ALTO
> 2000	MUY ALTO

Con la Figura 4.3 se identifica que las zonas con muy alta erosión por lluvia se encuentran en el río Salado y San Mateo, alto en los ríos Grande, La seca, Cañas y Manta, moderado en la parte noreste-central y bajo en la parte este de las cuencas Zapotal y Jipijapa.

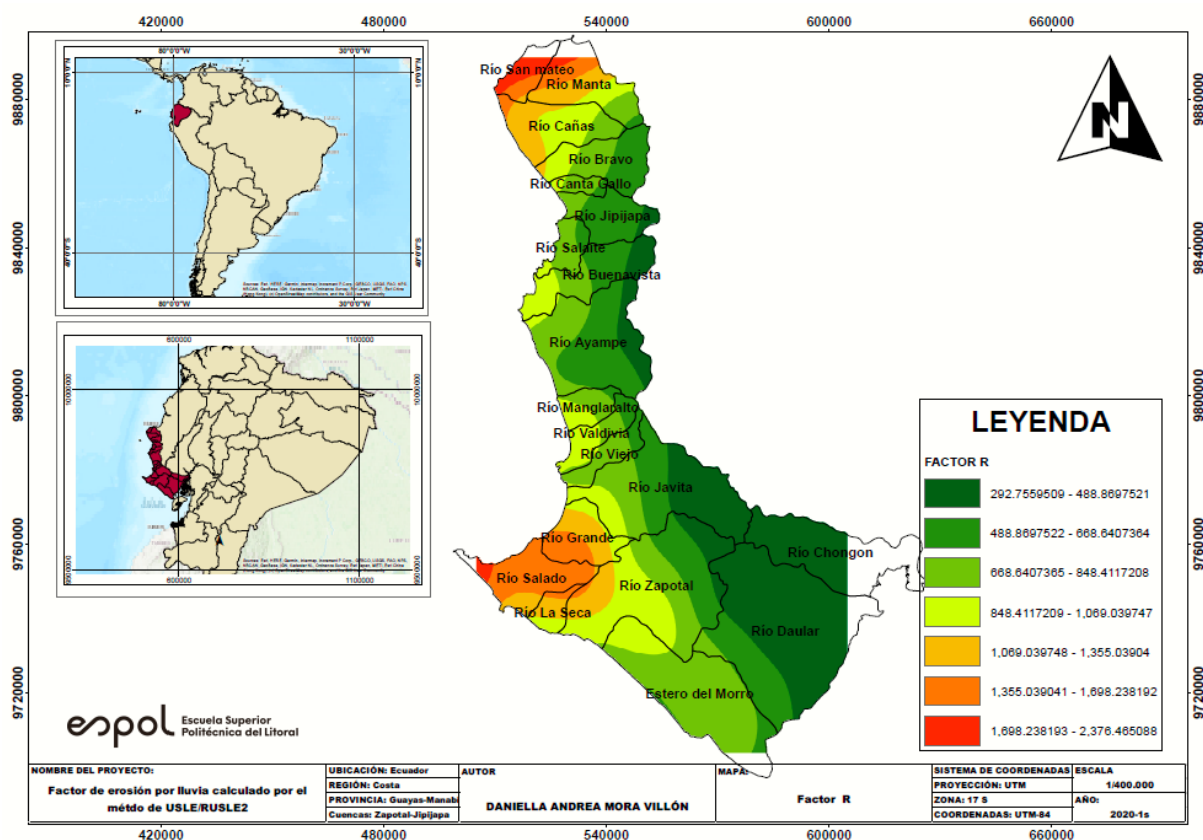


Figura 4.3 Factor R para las cuencas Jipijapa y Zapotal

#### **4.1.2 Erodabilidad (K)**

Partiendo del mapa de órdenes de suelos del Ecuador escala 1:250 000 (Apéndice A.1) otorgado por el Ministerio de agricultura y ganadería (MAGAP) y realizado por SigTierras con el análisis de 13000 calicatas y 37000 muestras de suelos ubicadas en puntos estratégicos del país.

En las cuencas Zapotal y Jipijapa predominan 6 tipos de suelos: alfisoles suelos de horizontes claros argílicos con dominio de arcilla se encuentran usualmente en lugares que no han sufrido alteraciones (erosión o modificaciones edáficas), debido a su permeabilidad generar poca infiltración, se encuentran en el norte de la cuenca Jipijapa y pequeña parte del oeste de Zapotal (Apéndice A.1)

Los aridisoles, suelos volcánicos de áreas cálidas a muy secas, de poca evolución debido a su alto contenido de sales solubles y poca cantidad de materia orgánica se limita al desarrollo de cobertura vegetal en ellos, ubicados usualmente en relieves litorales sedimentarios con influencia fluvial y marina, domina coherentemente la parte este-sur de la cuenca Zapotal.

Los entisoles corresponden a los suelos menos desarrollados susceptibles a altos índices erosivos por actividades antropogénicas además por su localización frecuente en altas pendientes o en zonas de acantilados, gran cantidad de elementos gruesos no consolidados y aportes fluviales, aparece en la parte central del área de estudio

Dominan el 35% de los suelos ecuatorianos, los inceptisoles se desarrollan rápidamente debido a que se meteorizan fácilmente, predomina la textura arenosa a arcillosa, alcalinos, cubiertos por vegetación como bosques o pastizales, en el evidentemente predominan al oeste de la zona a estudiar.

Molisoles ricos en materia orgánica, coloraciones oscuras localizados en relieves estructurales, colinas costeras y como bases de cuencas, en la zona de estudio se ubican como suelos superficiales de la cordillera Chongón Colonche en la parte este de la cuenca Zapotal.

Los vertisoles presentan altos contenidos de montmorillonita las cuales tienen alta capacidad expansiva y por lo tanto retiene cantidades de agua lo que las hace inundables

pero en épocas secas se comprimen, esta variabilidad de texturas genera una mezcla por lo que su coloración negra, este tipo de suelo ya se presenta en lugares planos o con poca pendiente, se encuentran en pequeñas partes del norte y este de la cuenca Jipijapa

Se utilizaron los valores del porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica otorgados por pruebas realizadas por la FAO para cada tipo de suelo, ilustradas en el Apéndice A.2 y con las ecuaciones (3.5),(3.6),(3.7),(3.8),(3.9) se obtuvo el factor K expuestos en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3 Factor K para los tipos de suelos en las cuencas Zapotal y Jipijapa**

<b>FACTOR DE ERODABILIDAD</b>		
TIPO DE SUELO	K	Área (km <sup>2</sup> )
ALFISOLES	0.00821	5433.51
MOLISOLES	0.01008	7603.08
VERTISOL	0.01131	2049.35
ARIDISOL	0.00729	2275.18
INCEPTISOLES	0.01167	11557.26
ENTISOLES	0.00743	20655.94
ALFISOL+MOLISOL	0.00828	1274.59
ARIDISOL+ENTISOL	0.00663	60.2
INCEPTISOL+ENTISOL	0.00966	17.97
INCEPTISOL-VERTISOL	0.01376	572.97
MOLLISOL+ENTISOL	0.00764	2240.61
MOLLISOL+INCEPTISOL	0.00990	319.1

De acuerdo a la Figura 4.4 las zonas con materiales susceptibles a la erosión se encuentran en la parte este, siendo Ayampe la subcuenca con valor más alto de factor K además de Valdivia, Viejo, Javita, Manglaralto y Chongón, la mayor parte del área de estudio tiene valores moderados de erodabilidad, es decir con potencia media de erosión, la parte sur-oeste tiene bajo nivel de factor K áreas con materiales de baja erodabilidad.

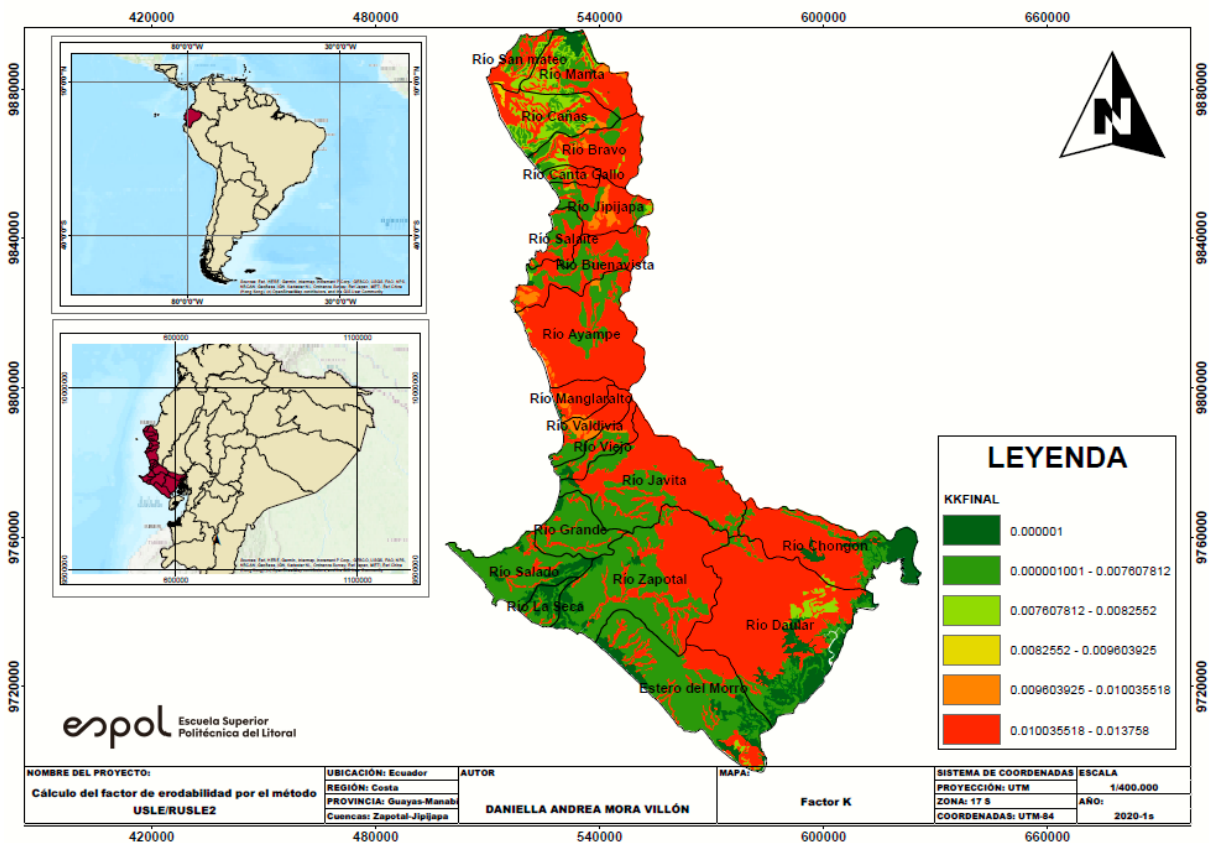
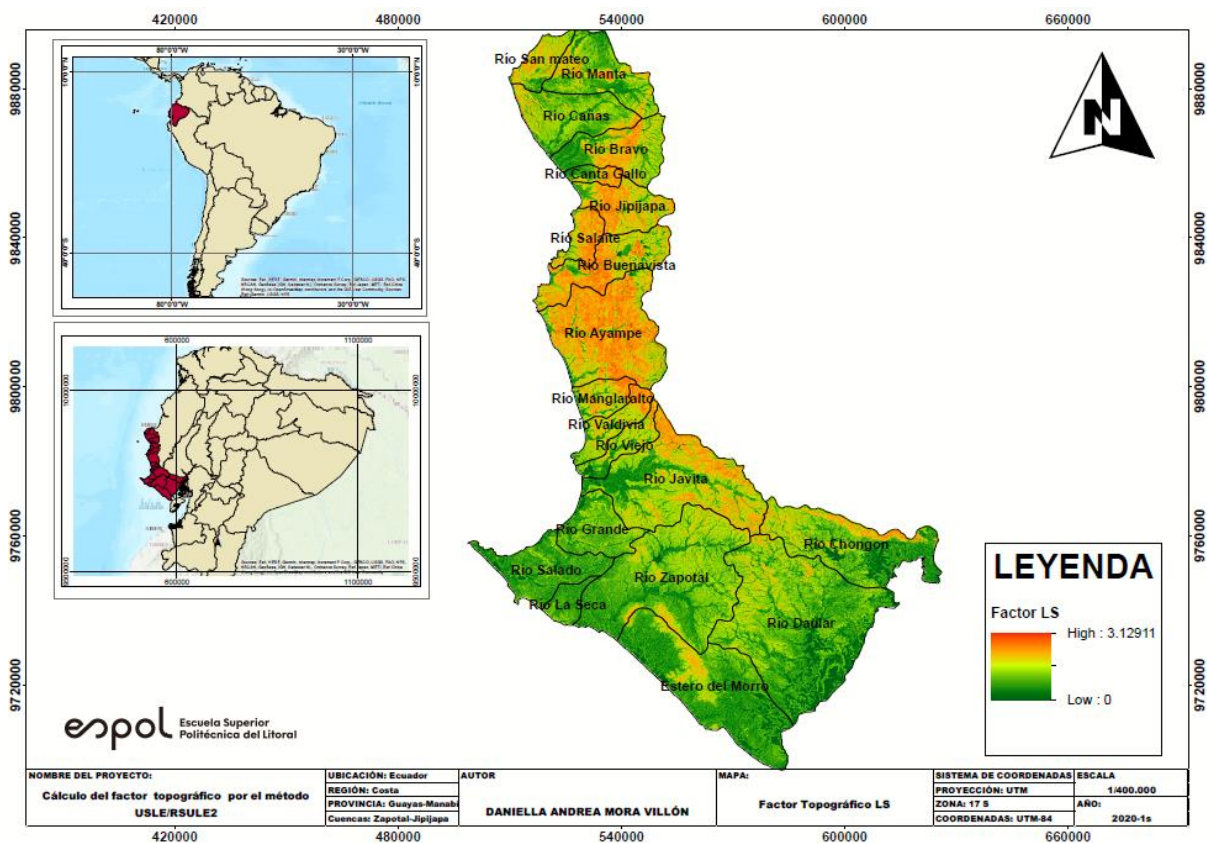


Figura 4.4 Factor K para las cuencas Jipijapa y Zapotal

### 4.1.3 Factor topográfico (LS)

El relieve del área de estudio se presenta en la Figura 4.5 se puede notar que el mayor rango de índice topográfico en coloración roja ubicado en la centro-norte en los ríos Jipijapa, Salaite, Ayampe y un pequeño tramo en el río San Mateo, es decir la influencia de la longitud y el gradiente de pendientes en relación con la erosión es alto, para el resto de la zona central tiene un factor medio que representa relieves de bajo ángulo y por último la mayor parte de la cuenca Zapotal ubicado en provincia de Santa Elena tiene el menor grado de factor LS esto se debe a la poca variación de relieve pues su superficie es caracterizada por planicies es decir poca exposición a la erosión.



**Figura 4.5 Factor topográfico en las Cuencas Zapotal y Jipijapa**

#### 4.1.4 Cobertura Vegetal (C)

Se utilizó las cartas de paisaje vegetal de Portoviejo, Jipijapa y Salinas para conocer los tipos de cobertura existente en la zona de estudio los cuales son la arbustiva árida, pastos artificiales, frutales indiferenciados, arbórea seca, arbórea muy seca, arbórea húmeda, cultivos de maíz y zonas sin vegetación. Según estas especificaciones se otorgó un factor C (Tabla 4.4) para cada una dependiendo del Apéndice A.17, se establece una relación inversa entre el factor c y la erosión, es decir entre mayor sea el valor menor susceptibilidad a la erosión tendrá la zona, las áreas sin vegetación tienen el factor de cobertura máxima igual a 1, esto se puede visualizar en la Figura 4.6.

Tabla 4.4 Factor C para cobertura vegetal de las cuencas Zapotal y Jipijapa

Factor C para las cuencas Zapotal y Jipijapa	
Tipo	Factor C
Arboricultura Tropical	0.0001
Área erosionada	1
Bancos de Arena	0.9
Bosque intervenido	0.037
Bosque Natural	0.003
Camaroneras	0.7
Cuerpo de agua artificial	0.0001
Cuerpo de agua natural	0.0001
Cultivos de Ciclo corto	0.5
Manglar	0.012
Pasto Cultivado	0.0215
Pasto Natural	0.008
Vegetación arbustiva	0.0165
Zona urbana	1

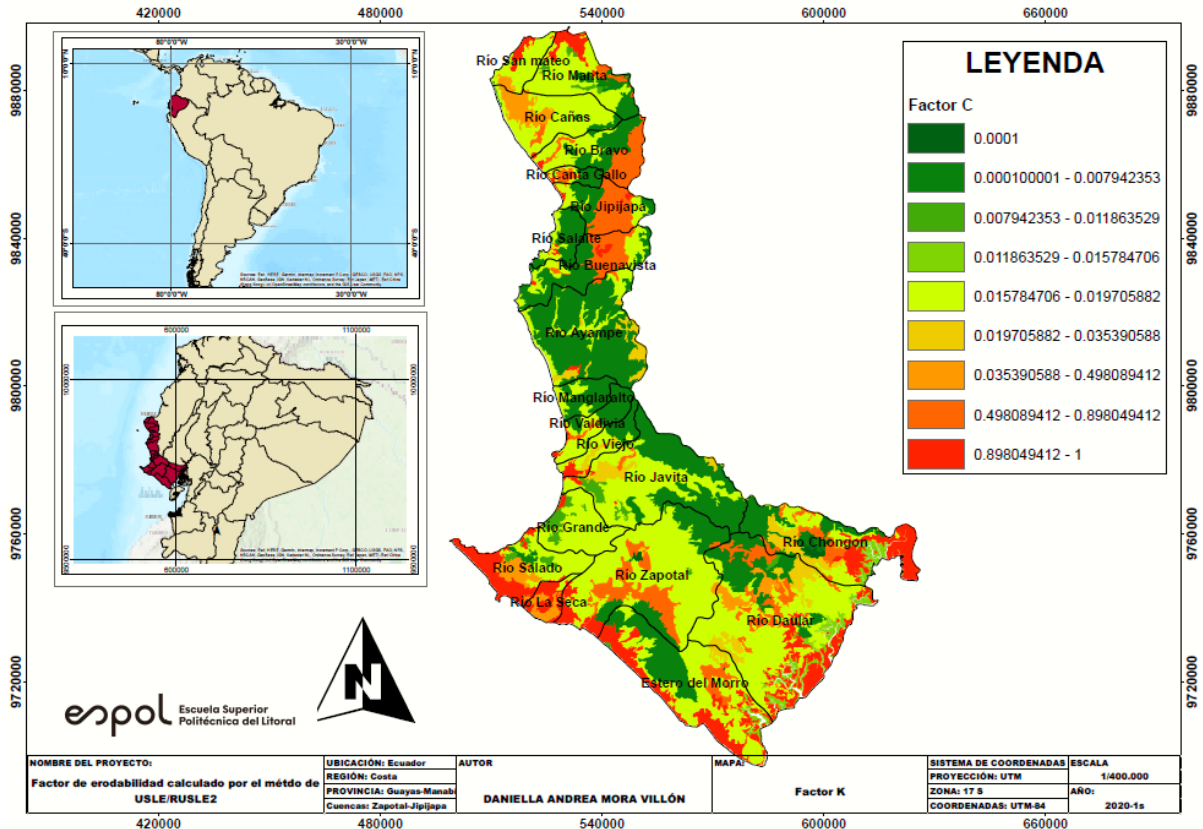


Figura 4.6 Factor C para las cuencas Jipijapa y Zapota

### 4.1.5 Factor de Conservación (P)

El factor de conservación fue asignado de acuerdo a la Figura 3.3 en donde se relacionan dichas prácticas con el porcentaje de pendiente, las pendientes de 0-10% obtuvieron un valor de 0.55 presente mayoritariamente en la parte norte y sur de la zona, las pendientes de 10-22% con factor de 0.65 aparecen en la parte central, con porcentaje de 22-37% P de 0.90 y las pendientes más elevadas fueron consideradas como lugares en donde no se han tomado estas medidas optando un valor de 1, estos corresponden al lado noreste del área; esto se ilustra en la Figura 4.7

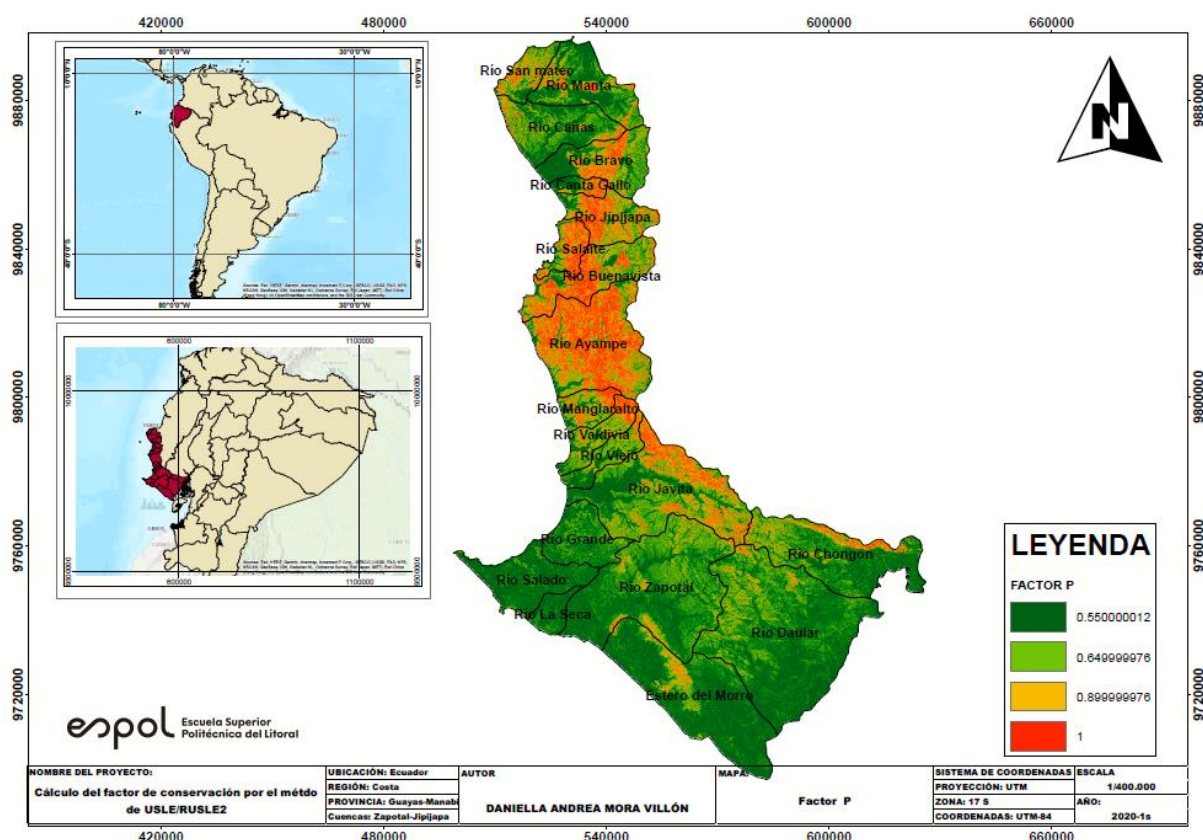


Figura 4.7 Factor P para las cuencas Jipijapa y Zapotal

### 4.1.6 Factor de Retención (T)

Se recopiló información sobre obras en las zonas de estudio y se le dio un factor de retención a cada una de acuerdo a su capacidad de limitar el paso de sedimentos en los cauces fluviales de acuerdo a la Tabla 3.2. Según la Figura 4.8 la cuenca de Zapotal tiene mayor influencia de antropización por la presencia de camaroneras en el perfil del sureste, además de represas construidas en los ríos principales de las subcuencas como

la represa Velasco Ibarra posicionada en el río Salado, la represa Zapotal en el cauce del mismo nombre y represa Chongón también establecida en el cauce principal; en la cuenca Jipijapa existen menos camaroneras y no hay represas registradas.

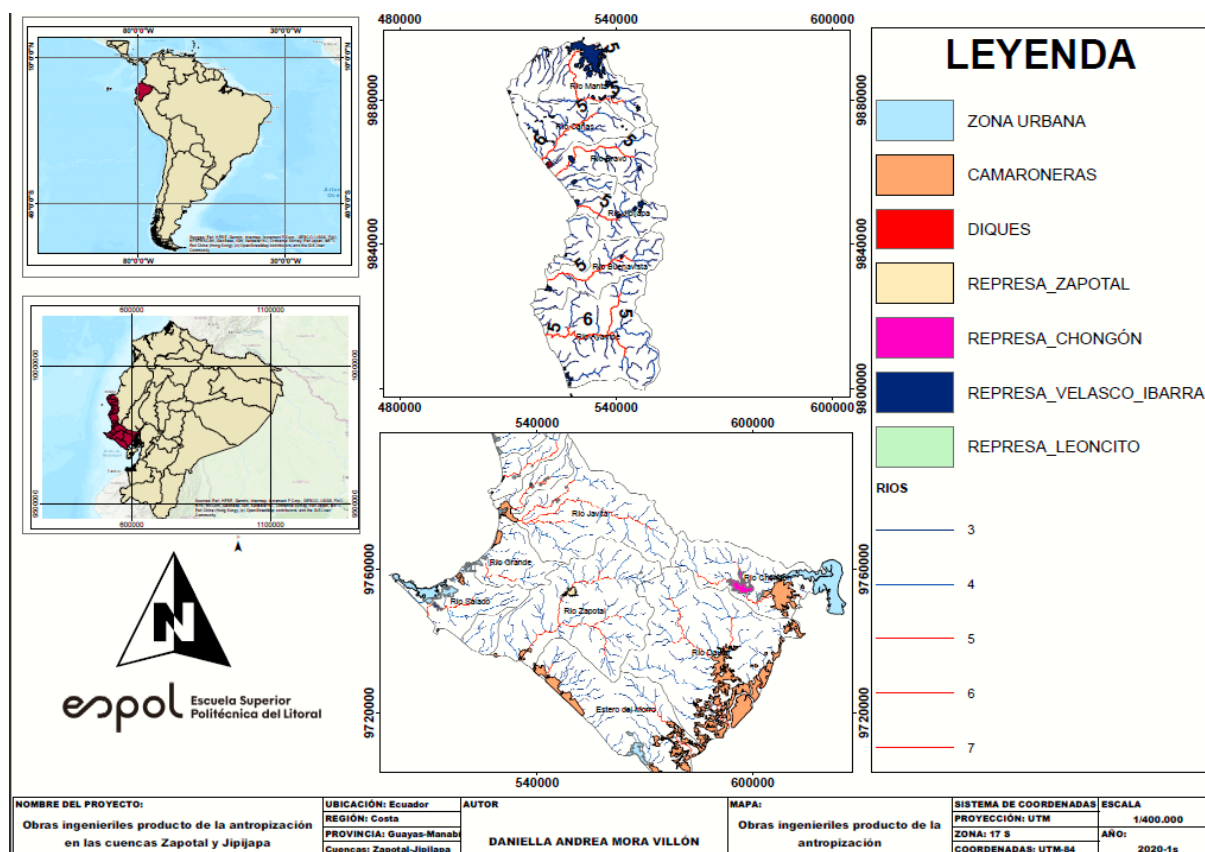


Figura 4.8 Obras ingenieriles en las cuencas Zapotal y Jipijapa

#### 4.1.7 Pérdida de Suelo Anual Potencial (A)

Mediante el álgebra de mapa se utilizó (3.1) para obtener la tasa de pérdidas de suelo en las cuencas Jipijapa y Zapotal (Figura 4.9), para su interpretación se ha utilizado la tabla clasificatoria del Mapa del grado de erosión Hídrica de los suelos del Gobierno Vasco realizado en 2005, así para la zona de estudio la tasa de pérdida mayor se encuentra al noreste en la subcuenca con 65.62 Tm/ha/año del río San Mateo y parte del río Manta, es decir es una zona sometida a grandes procesos erosivos, las subcuencas de la parte este en las subcuencas del río Bravo, Jipijapa, Cantagallo, Buenavista y oeste en el río salado y La Seca se encuentran en el rango de 1-10 tm/ha/año considerados como pérdidas relacionados a procesos erosivos moderados, en la subcuencas del



sector suroeste posee procesos erosivos bajos sin erosión neta con pérdidas de 0-10 tm/ha/año, las zonas en donde existe A=0 son sectores urbanos, carreteras o presas/embalses las cuales no son susceptibles a erosión.

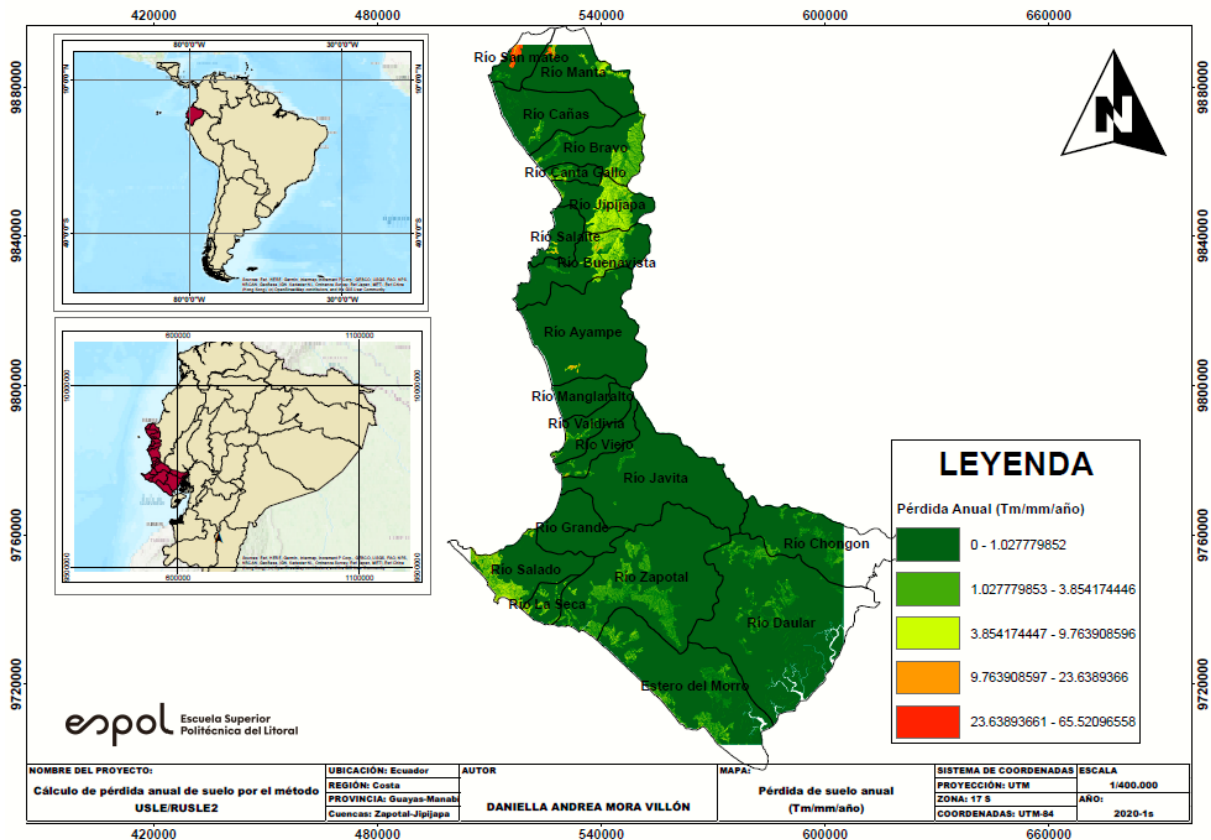
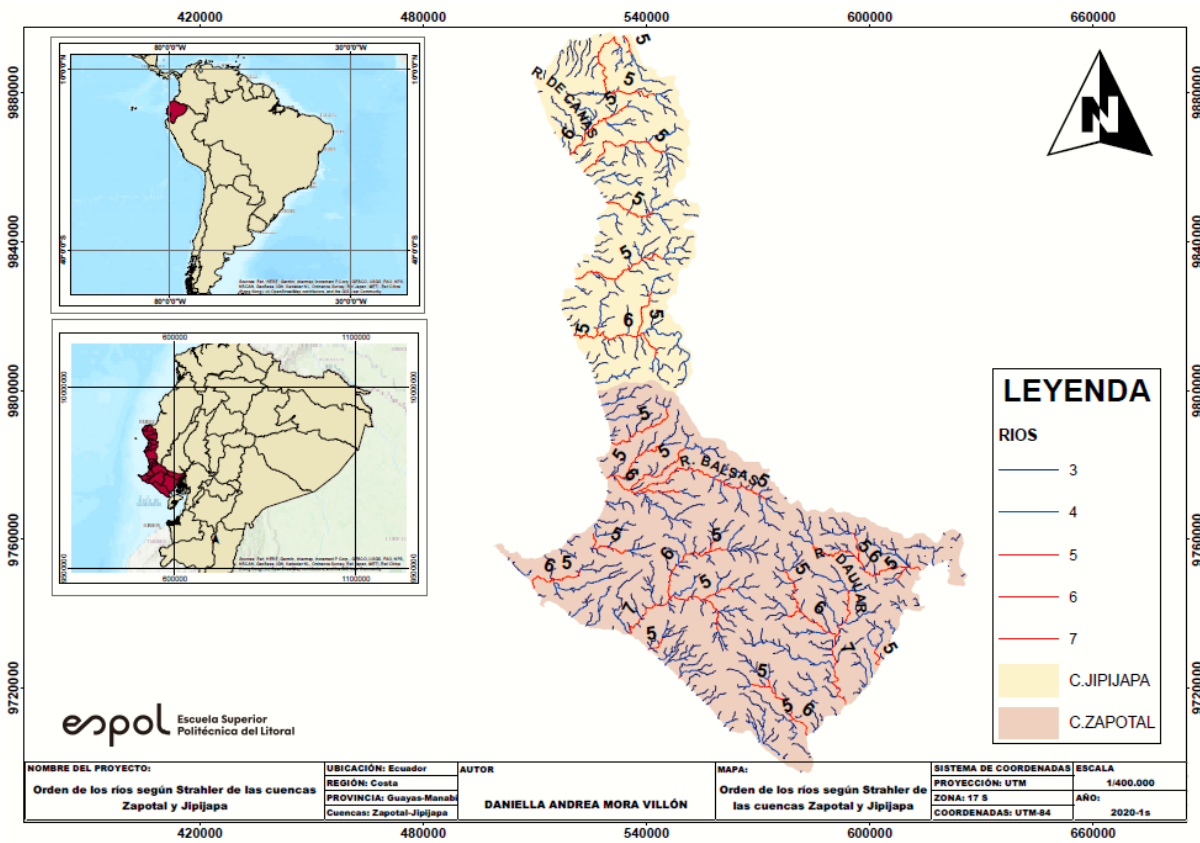


Figura 4.9 Pérdida de suelo anual de las cuencas Zapotal y Jipijapa

## 4.2 Distribución hidrológica de los sedimentos

### 4.2.1 Análisis de la morfométrica de las subcuencas y sus ríos principales

Se obtuvo el orden jerárquico para cada subcuenca del área de estudio, los órdenes 1, 2, 3 y 4 han sido considerados como tributarios de drenaje, es decir acumula sedimentos, y los órdenes 5, 6 y 7 aquellos que llevan a cabo el transporte del material (Figura 4.10). A partir de esta premisa la Tabla 4.5 refleja los parámetros morfométricos necesarios para el cálculo del índice de entrega de sedimentos, los cuáles fueron procesados en el programa IDRISI 17.0.



**Figura 4.10 Órdenes de ríos principales y tributarios de las cuencas Zapotal y Jipijapa**

La subcuenca del río Bravo se identifica a partir de la curva hipsométrica, una cuenca madura en estado de equilibrio, en donde predominan procesos en intervalos simétricos agradativos y degradativos características coherentes en relación a los valles bajos y clima seco del área, sus altitudes varían de 800 a 100 msnm, en donde los puntos de mayor altitud representan mayor erosividad, su río principal es meándrico y con una pendiente media de 12.78%, ver Apéndice A4.

En el Apéndice A.5 la curva hipsométrica del río Cañas refleja la subcuenca en etapa de madurez-vejez, donde el cauce es antiguo con erosión mayormente en la base, tiene capacidad de carga baja, el relieve (900-100 msnm) se denota como un valle de piedemonte, el río Cañas tiene una pendiente de 9.77% y por su sinuosidad es entrelazado.

**Tabla 4.5 Parámetros morfométricos de las subcuencas Jipijapa y Zapotal**

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS SUBCUENCAS									
SUBCUENCA	RIO	PENDIENTE RÍO PRINCIPAL %	ÁREA (km <sup>2</sup> )	LONGITUD (k)	LONGITUD DE DRENAJE	ELEVACIÓN MEDIA CUENCA	PENDIENTE MEDIA CUENCA %	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	DENSIDAD DE DRENAJE
Ayampe	Ayampe	26.92%	711.07	31.11	282.47	376.62	34.09	640.16	0.40
	Pinas	25.79%							
	Blanco	31.02%							
Bravo	Sangán	15.92%	326.18	20.97	153.54	265.64	18.99	848.53	0.47
	Amargo	11.38%							
	Río Bravo	11.05%							
Buenavista	Buenavista	18.11%	352.06	33.66	144.96	314.37	28.63	673.75	0.41
Cantagallo	Cantagallo	11.29%	66.32	15.52	34.75	234.68	22.48	813.41	0.52
Cañas	Cañas	9.77%	357.70	34.88	151.03	155.60	13.17	1213.08	0.42
Chongón	Chongón	5.29%	593.18	29.97	258.81	104.39	13.39	339.69	0.44
	Perdido	14.39%							
Daule	Daular	8.04%	1336.11	44.40	544.47	61.55	9.44	549.25	0.41
Grande	Grande	8.20%	259.25	18.09	110.47	77.26	9.70	1218.12	0.43
Javita	Javita	6.30%	813.02	48.91	325.91	204.19	19.55	700.23	0.40
	Balsas	76.20%							
Jipijapa	Jipijapa	19.23%	253.00	6.00	103.99	338.09	28.07	644.93	0.41
La Seca	La Seca	7.10%	93.41	14.62	41.02	52.08	7.31	1202.93	0.44
Manglaralto	Manglaralto	26.72%	133.06	17.43	56.56	164.68	24.95	819.79	0.43
Manta	Manta	16.26%	360.88	28.04	161.21	183.72	13.26	1304.82	0.45
	Estero Bajo	10.46%							
Morro	Morro	5.01%	828.76	21.03	362.80	54.08	7.09	779.41	0.44
Salado	Vegas	6.59%	339.35	11.76	118.70	49.47	5.79	1482.09	0.35
Salaite	Salaite	31.09%	124.74	10.40	39.07	236.36	32.84	783.30	0.31
San Mateo	San Mateo	18.95%	136.14	4.46	58.84	197.95	20.31	1805.26	0.43
Valdivia	Valdivia	11.39%	164.52	13.69	70.09	173.53	22.16	803.78	0.43
Viejo	Viejo	8.21%	141.26	26.47	76.30	14.00	15.91	708.14	0.54
Zapotal	Zapotal	6.57%	1034.44	26.23	438.82	99.28	10.16	923.45	0.42
	De azúcar	6.45%							
	Enanitos	6.11%							

Cantagallo, en el Apéndice A.6 denota una cuenca de ríos maduros con estabilidad en donde predominan procesos erosivos en las vertientes y gran capacidad de carga, su cauce principal tiene pendiente de 11.29% de tipología meándrica ligeramente ondulada.

Para la subcuenca del río Viejo (Figura 4.17) comparte relación con la de Cañas, cuenca madura, erosión basal, valle de piedemonte, el río Viejo tiene pendiente de 8.21% entrelazado y ligeramente ondulado.

El río Javita constituye una cuenca antigua estable (Apéndice A.7), en donde el drenaje es concentrado en la base de la cuenca, con la curva se infiere una alta capacidad de carga, río principal entrelazado con poca ondulación de pendiente alta de 41.5% en promedio, cuenca de sistema montañosos en climas áridos.

La subcuenca Jipijapa tiene ríos maduros según su curva hipsométrica (Apéndice A.8) donde existen grandes procesos erosivos, de relieves medios a altos, escarpados, gran capacidad de carga, río principal con pendiente de 19.23% rectilíneo e inestable.

San Mateo es una subcuenca de ríos viejos donde existe equilibrio entre los procesos erosivos agradacionales y degradacionales con predominancia en la base, río principal entrelazado fuertemente ondulado con pendiente de 18.95%, se ilustra en el Apéndice A.9.

El apéndice A.10 refleja los ríos antiguos de la subcuenca La Seca la curva hipsométrica aplanada indica cuencas de sistemas montañosos estables al igual que otras subcuencas con procesos erosivos equilibrados pertenecientes a valles de montañas, el río La Seca es entrelazado con poca ondulación de pendiente 7.10%.

Manta como subcuenca refleja fase de vejez en su curva hipsométrica (Apéndice A.11) existe erosión fundamentalmente basal con baja capacidad de transporte debido a que se desarrolla en pareas de montaña bajas, su cauces con mayor orden promedian un 13.36% de pendiente y debido a su sinuosidad se clasifica en entrelazado y ondulado.

En la subcuenca Salaita la curva refleja una cuenca madura con poca capacidad de carga debido, sin embargo tiene predominancia en procesos de sedimentación fluvial en la parte basal de la cuenca, pendiente del cauce de 31.09% haciendo de este un río fuertemente escarpado y de tipología entrelazada, (Apéndice A.12).

La subcuenca del río Buenavista es una subcuenca madura identificada por su curva hipsométrica ilustrada en el Apéndice A.13 donde la mayoría de los sedimentos se han depositado en la parte más baja de la cuenca, drenaje concentrado, pendiente de 18.11% y en conjunto con su sinuosidad se clasifica como un río entrelazado ondulado.

#### 4.2.2 Transporte de los sedimentos en la cuenca hidrográfica

Para analizar el alcance más real del índice de entrega de sedimentos se realizó una comparación de fórmulas empíricas ilustradas en la Tabla 4.6, en donde por cada autor se consideró diferentes parámetros en relación a las características morfométricos de las subcuencas de las cuencas Zapotal y Jipijapa, según los valores y la evaluación la relación según Roehl sobreestima la capacidad de las cuencas, mientras que Diodato la subestima, por lo tanto Mou y Williams son valores acordes a las condiciones evaluadas, sin embargo la fórmula de Mou analiza el área y la densidad de drenaje de las mismas siendo ésta la adecuada para el cálculo requerido.

**Tabla 4.6 Índice de entrega de sedimentos según diferentes autores**

ÍNDICE DE ENTREGA DE SEDIMENTOS					
SUBCUENCA	RIO	SDR (WILLIAMS)	SDR (DIODATO)	SDR ROEHL	SDR MOU
Ayampe	Ayampe	0.369	0.154	1.518	0.884
	Pinas	0.363			
	Blanco	0.391			
Bravo	Sangán	0.299	0.124	1.811	1.003
	Amargo	0.261			
	Río Bravo	0.258			
Buenavista	Buenavista	0.315	0.131	1.574	0.839
Cantagallo	Cantagallo	0.260	0.108	2.139	0.978
Cañas	Cañas	0.246	0.102	1.439	0.812
Chongón	Chongón	0.192	0.080	1.374	0.874
	Perdido	0.287			
Daule	Daular	0.227	0.094	1.006	0.839
Grande	Grande	0.229	0.095	1.473	1.045
Javita	Javita	0.206	0.086	1.280	0.855
	Balsas	0.562			

ÍNDICE DE ENTREGA DE SEDIMENTOS					
SUBCUENCA	RIO	SDR (WILLIAMS)	SDR (DIODATO)	SDR ROEHL	SDR MOU
Jipijapa	Jipijapa	0.323	0.134	2.003	0.843
La Seca	La Seca	0.216	0.090	1.571	0.964
Manglaralto	Manglaralto	0.368	0.153	1.712	0.882
Manta	Manta	0.302	0.125	1.592	0.921
	Estero Bajo	0.252			
Morro	Morro	0.188	0.078	1.277	0.700
Salado	Vegas	0.210	0.087	1.203	0.769
Salaite	Salaite	0.392	0.163	1.543	0.338
San Mateo	San Mateo	0.321	0.133	2.073	0.506
Valdivia	Valdivia	0.261	0.109	1.759	0.891
Viejo	Viejo	0.229	0.095	1.358	1.328
Zapotal	Zapotal	0.209	0.087	1.302	0.906
	De azúcar	0.208			
	Enanitos	0.203			

#### 4.2.3 Volumen de transporte en la desembocadura

En la tabla 4.7 se muestra la cantidad de volumen que llega al final de la desembocadura de cada subcuenca, se presenta el rango máximo de volumen que alcanza y el promedio de material, así las subcuencas de San Mateo, Manta y Salado son las que aportan mayor sedimento al balance sedimentario de las costas ecuatorianas y las menos productivas son Manglaralto, Chongón y Daule.

**Tabla 4.7 Volumen total de sedimentos transportados por las cuencas Zapotal y Jipijapa**

VOLUMEN DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS								
CUENCA	SUBCUENCA	RIO	PÉRDIDA DE SUELO		SDR	TOTAL MEDIO Tm/ha/año	TOTAL MÁXIMO Tm/ha/año	
			MAXIMO	MEDIA				
JIPIJAPA	San Mateo	San Mateo	65.521	3.082	0.506	1.558	33.129	
	Manta	Manta	56.068	0.737	0.921	0.679	51.653	
		Estero Bajo						
	Cañas	Cañas	13.872	0.234	0.812	0.190	11.269	
	Bravo	Sangán	Río Bravo	22.406	1.028	1.003	1.031	22.474
		Amargo						
Río Bravo								

VOLUMEN DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS							
CUENCA	SUBCUENCA	RIO	PÉRDIDA DE SUELO		SDR	TOTAL MEDIO (Tm/mm/ha)	TOTAL MÁXIMO (Tm/ha/año)
			MAXIMO	MEDIA			
JIPIJAPA							
	Cantagallo	Cantagallo	18.959	0.693	0.978	0.677	18.536
	Jipijapa	Jipijapa	22.126	2.189	0.843	1.846	18.657
	Salaite	Salaite	23.158	0.319	0.338	0.108	7.830
	Buenavista	Buenavista	23.257	1.147	0.839	0.962	19.522
	Ayampe	Ayampe	19.775	0.124	0.884	0.110	17.481
		Pinas					
		Blanco					
Manglaralto	Manglaralto	0.472	0.066	0.882	0.059	0.416	
<b>TOTAL</b>						<b>7.220</b>	<b>200.969</b>
Zapotal	Valdivia	Valdivia	31.228	0.319	0.891	0.284	27.839
	Viejo	Viejo	23.191	0.228	1.328	0.302	30.805
	Javita	Javita	17.872	0.064	0.855	0.055	15.287
		Balsas					
	Chongón	Chongón	8.042	0.241	0.874	0.211	7.030
		Perdido					
	Daule	Daular	9.513	0.165	0.839	0.139	7.978
	Morro	Morro	24.225	0.332	0.700	0.232	16.955
	Zapotal	Zapotal	19.279	0.365	0.906	0.331	17.463
		De azúcar					
		Enanitos					
	La Seca	La Seca	25.475	0.816	0.964	0.787	24.565
	Salado	Vegas	39.467	1.172	0.769	0.901	30.344
Grande	Grande	12.907	0.081	1.045	0.085	13.493	
<b>TOTAL</b>						<b>3.327</b>	<b>191.758</b>

#### 4.2.4 Influencia de la antropización

En la Tabla 4.8 se muestra el volumen total de sedimentos transportados por los ríos bajo la influencia de la antropización que se ha venido desarrollando con mayor intensidad a partir de los años 90 hasta la actualidad, existen subcuencas que no tienen modificaciones esto es porque no existen prácticas relacionadas o al menos no se han encontrado información, aun así la afectación se puede expresar en porcentaje, la cuenca Jipijapa se ha visto afectada en un 2.31% y Zapotal en 7.91%, el mayor

desbalance se da en la cuenca Zapotal debido al fuerte predominio de camaroneras y represas existentes.

Tabla 4.8 Volumen de sedimentos transportados por las cuencas Zapotal y Jipijapa

VOLUMEN DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS							
CUENCA	SUBCUENCA	RIO	PÉRDIDA DE SUELO		SDR	TOTAL MEDIO Tm/ha/año	TOTAL MÁXIMO Tm/ha/año
			MAXIMO	MEDIA			
JIPIJAPA	San Mateo	San Mateo	65.521	3.082	0.506	1.558	33.129
	Manta	Manta	56.068	0.737	0.921	0.679	51.653
		Estero Bajo					
	Cañas	Cañas	13.143	0.072	0.812	0.059	10.677
	Bravo	Sangán	22.406	1.028	1.003	1.031	22.474
		Amargo					
		Río Bravo					
	Cantagallo	Cantagallo	18.959	0.693	0.978	0.677	18.536
	Jipijapa	Jipijapa	22.126	2.172	0.843	1.832	18.657
	Salaite	Salaite	23.158	0.315	0.338	0.106	7.830
	Buenavista	Buenavista	18.429	1.149	0.839	0.964	15.470
	Ayampe	Ayampe	19.775	0.124	0.884	0.110	17.481
		Pinas					
Blanco							
Manglaralto	Manglaralto	0.472	0.066	0.882	0.059	0.416	
<b>TOTAL</b>						<b>7.074</b>	<b>196.324</b>
ZAPOTAL	Valdivia	Valdivia	31.228	0.313	0.891	0.279	27.839
	Viejo	Viejo	23.191	0.222	1.328	0.295	30.805
	Javita	Javita	17.872	0.064	0.855	0.055	15.287
		Balsas					
	Chongón	Chongón	8.042	0.231	0.874	0.202	7.030
		Perdido					
	Daule	Daular	8.528	0.157	0.839	0.132	7.152
	Morro	Morro	24.225	0.327	0.700	0.229	16.955
	Zapotal	Zapotal	19.279	0.365	0.906	0.331	17.463
		De azúcar	19.279	0.365			
		Enanitos	19.279	0.365			
	La Seca	La Seca	25.475	0.816	0.964	0.787	24.565
Salado	Vegas	31.342	0.346	0.769	0.266	24.097	
Grande	Grande	5.163	0.080	1.045	0.083	5.397	
<b>TOTAL</b>						<b>2.658</b>	<b>176.590</b>



### 4.3 Discusión

Los datos obtenidos indican que el transporte sedimentario fluvial está condicionado por factores naturales, el factor de erosividad por precipitación es el que genera más impacto puesto que es la energía la que se necesita para arrancar los sedimentos, así mismo la morfometría de los cauces influyen en la capacidad de transporte de las cuencas hidrográficas, con esto los ríos de mayor aporte son San Mateo y Manta ambos de compacidad oblonga, sinuosidad entrelazada y ondulado, además son zonas con más de 1000 mm de precipitación en la época lluviosa (enero-mayo) alcanzando a aportar 65.52 y 56.07 Tm/ha/año respectivamente; en contraste los ríos Chongón y Manglaralto son los productores de menor cantidad de sedimentos ambos son meándricos y escarpados, sin embargo poseen precipitaciones de menos de 783 mm.

Además de estos factores los cambios realizados en los ríos por obras construidas por las autoridades o comunidades para diferentes finalidades actúan también como instrumentos de retención de sedimentos los cuales disminuyen el volumen que llega a la plataforma continental y por ende genera una mayor erosión y ésta si se vuelve más acelerada las playas ecuatorianas estarían expuestas a desaparición, obras como represas y empresas camaroneras entraron en auge a partir de los años 90 las cuales encuentran mayoritariamente en las subcuencas de la cuenca de Zapotal por lo que la cantidad de material de aporte se disminuye en un 7.91%, para Jipijapa es un 2.31% ; ambos valores no se reflejan alarmantes en primera instancia, sin embargo según la proyección realizada a partir de tasas de crecimiento proporcionales refleja que para el año 2055 las cuencas de Jipijapa y Zapotal enfrentan una pérdida del 15.05% y 51.54% de pérdida, como se ilustra en la Figura 4.11, ésta pérdida proyectada en varios años sin acciones que remedien la problemática conllevará a una problemática aún mayor en cuanto a la regeneración de las playas del Ecuador.

Determinar la afectación del litoral es una tarea de evaluación constante de un conjunto de factores dinámicos que se encuentran en cambio continuo, sin embargo es innegable la situación de erosividad que afecta a las playas, en Perú se han realizado proyectos enfocados a determinar también el total de sedimentos que llegan a la zona litoral bajo esta misma metodología, por ejemplo la cuenca del río Chillón en Perú produce de 10-291 Tm/ha/año y al tener similitudes tanto climáticas como morfométricas con las

cuencas estudiadas se relaciona de manera efectiva la cantidad potencial calculada en este proyecto.

Entonces el desequilibrio sedimentario representa no solo una problemática de nuestro país sino también a nivel de Latinoamérica, por el uso de estructuras que no protegen todos los frentes naturales que cumplen los ríos, según Serrato, et al 2013 en las represas se mantiene entre un 70 y 95% de arenas transportadas como carga de fondo, fracciones esenciales para alimentar a las playas; la sobre-explotación de productos pétreos extraídos de los cauces fluviales, además de la estabilización de acantilados por el aumento de zonas urbanas en su parte alta y construcción de malecones que para su construcción eliminan partes de las playas.

Es por esta premisa que se brindan estos resultados como datos teóricos de la potencialidad de sedimentos que pueden aportar las cuencas Zapotal y Jipijapa y la disminución de los sedimentos que están llegando en la actualidad debido a procesos antrópicos que pueden ser aplicados de forma sustentable en que beneficie a ambos objetivos tanto para la acumulación de agua y transporte de sedimentos.

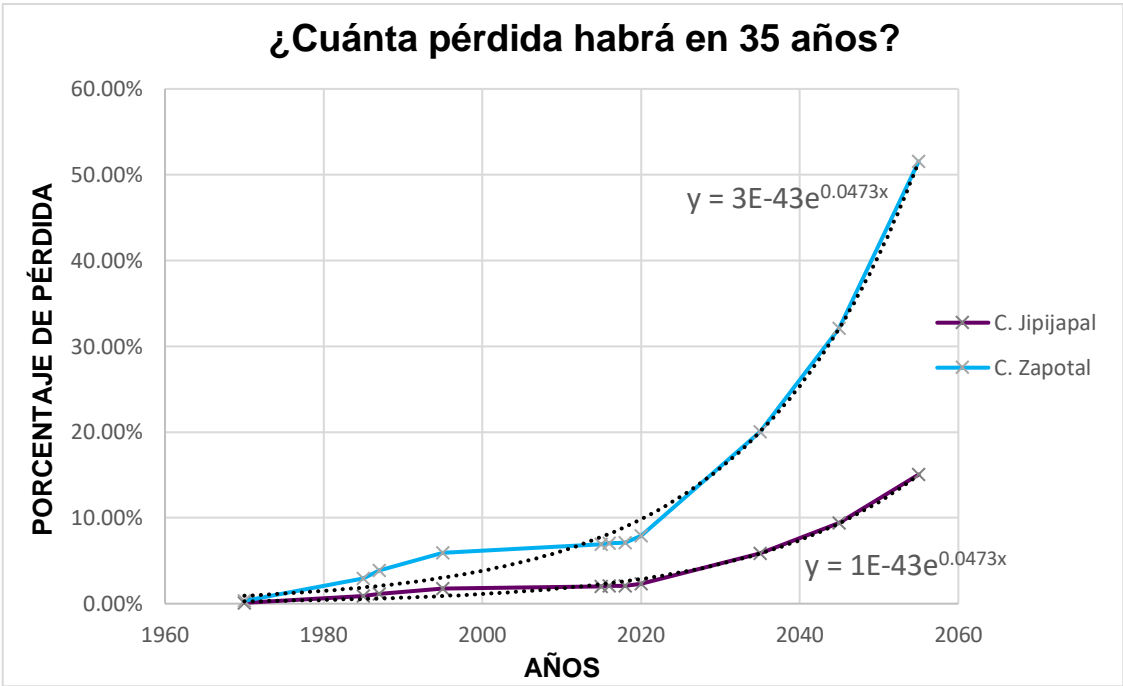


Figura 4.11 Proyección porcentaje de pérdida para Jipijapa y Zapotal en 2055.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Se ha comprobado que los sistemas de información geográfica con el método USLE/RUSLE2 son adecuados para estimar la pérdida de suelos existentes en las cuencas de Zapotal y Jipijapa, estas herramientas permitieron procesar los principales factores que conllevan a dicho proceso: erosividad, erodabilidad, topografía, cobertura vegetal y prácticas de conservación, identificando así las zonas de mayor y menor aporte, datos que servirán como referencia para próximos análisis marinos, costeros y ambientales para enfrentar la problemática de la desaparición o reducción de las playas ecuatorianas.

Se recalca que los valores de pérdida de suelos y cantidad de volumen transportados son aproximaciones debido a que no se realizaron observaciones o ensayos in situ debido a la pandemia mundial del covid-19, por lo cual se recopiló la información de distintas bases de datos, adaptando el detalle para cada una de ellas perdiendo en ciertas ocasiones información, sin embargo el proyecto ayuda a tener una perspectiva general de los aportes sedimentarios por las subcuencas estudiadas.

Las imágenes satélites climáticas CHIRPS son una alternativa eficaz para obtener el factor R (erosividad por lluvia) debido a la falta de datos pluviométricos generados por el INAMHI en cuanto a su tiempo de recurrencia y vacíos en los años existentes. Se establece la tendencia de que a mayor precipitación mayor suelo erosionado en las cuencas Zapotal y Jipijapa la mayor tasa de erosión por lluvia se dio en los años 1998, 2012 y 2017 con R en un rango de  $(128-1000 \frac{MJ*mm}{ha*h*año})$  siendo altamente susceptibles al desgarre de material para ser transportados fluvialmente.

En coherencia con el punto anterior los suelos de mayor erodabilidad son los presentes en las subcuencas de los ríos Salado y San mateo además de Manta, Cañas, Cantagallo, Grande, Zapotal y el estero del Morro, en un rango de 0.009 y  $0.01 \frac{Tm**h}{MJ*mm}$  determinando la relación directamente proporcional entre la erodabilidad y erosividad.

La presente cordillera Chongón Colonche que atraviesa las subcuencas de lado este del área de estudio se fija como la zona de mayor factor topográfico con un máximo de 3.129 [m], los sectores con la influencia de mayores pendientes favorece la velocidad de flujo de los materiales aumentando su capacidad de transporte, sin embargo para esta área de estudio los materiales presentes en estas mismas zonas son de alta consolidación además de estar cubierto por bosques naturales por lo cual no se identifica como el mayor factor condicionante en este específico proceso de erosión, transporte y sedimentación.

La cobertura vegetal al ser un medio protector de los suelos tiene una relación inversamente proporcional con el factor R, fue predecible saber que las zonas con mayor cantidad de pérdida de suelo anual se da en localidades con poca vegetación en donde los suelos por prácticas como el laboreo quedan expuestos directamente a la lluvia, sin embargo el factor más significativo (0.89-1) no se encuentra de manera extensiva en la zona de estudio predomina en el perfil costanero de la cuenca Zapotal por la presencia de camaroneras, en donde frecuentemente son zonas de acumulación que impiden el tránsito costero natural.

En cuanto a las prácticas de conservación, está directamente relacionado con el factor topográfico pues toma en cuenta el porcentaje de la longitud de la pendiente para otorgar un valor, los valores más representativos se encuentran en relación a la Cordillera Chongón Colonche.

El factor de retención podría mejorar al tener más información de las obras ingenieriles construidas en el área de estudio o visitas en el campo que permitan corroborar las condiciones, este factor aumenta a medida de que exista mayor cantidad de obras en los ríos las cuales frenan el proceso de transporte y lo limita a la acumulación disminuyendo la cantidad de sedimentos que entregan las cuencas al final de la desembocadura.

La pérdida de suelo anual asciende en un escenario máximo a 65.52 toneladas por hectárea por año, en la subcuenca de San Mateo, siguiéndole Manta con 56.06, Salado con 39.67 y Valdivia con 31.22Tm/ha/año, siendo los ríos principales de estas subcuencas los aportadores mayoritarios a la alimentación de la zona litoral

correspondiente, la subcuenca Manglaralto y Salaite es el menor aporte que reciben probablemente por la prácticas de acumulación que se dan para abastecer de agua , que si bien ayuda significativamente a la comunidad es una solución a corto plazo que afectaría a la extensión de playas en un futuro; este proyecto sirve de base para planificar medidas que respeten el equilibrio entre el balance sedimentario y extracción de agua que debería existir naturalmente.

Las subcuencas con mayor capacidad de transporte y entrega de sedimentos son las de los ríos de Cantagallo (97.8%), La Seca (96.4%) y Manta (92.1%) éste índice depende del área de la cuenca y la densidad de canal que posee, con este se identifica que la morfometría de la cuenca es importante, ya que la zona puede tener altas pérdidas de suelo pero no capacidad de transporte óptimo para ser la subcuenca de mayor alcance de material en la desembocadura.

Se estimó la cantidad potencial total de sedimentos que producen las cuencas hidrográficas de Jipijapa y Zapotal en un escenario máximo alcanzan 200.96 y 191.75 Tm/ha/año respectivamente siendo la cuenca Jipijapa de mayor aporte, y en escenario promedio la cuenca Jipijapa es constante al entregar 7.22 Tm/ha/año en contraste con Zapotal y sus 3.32 Tm/ha/año.

Sin embargo la entrega de sedimentos hacia la costa se ve afectada por el auge de la antropización, disminuyendo su capacidad de entrega al cambiar la configuración drenaje así como también mermar la cantidad de sedimentos transportados ya que los retienen. En su totalidad las cuencas de Jipijapa y Zapotal se ven afectadas en un 2.31% y 7.91% dejando a las cuencas con una producción de 196.32 y 176.59 Tm/ha/año.

### **Recomendaciones**

Se recomienda trabajar con un mejor detalle en la edafología y vegetación de la zona de estudio para aproximar con mayor ajuste los valores de erosión potencial obtenidos.

Realizar trabajos en campo para muestreo y luego aplicación de ensayos de suelos para calificar la erodabilidad con métodos prácticos.

Socializar el proyecto a las instituciones gubernamentales pertinentes para tomar medidas de prevención en la preservación de las costas del país, en relación al desbalance sedimentario y posible pérdida de playas.

Promover la aplicación de la metodología aquí propuesta para generar una base de datos en la tipología y capacidad de entrega de las cuencas hidrográficas del país, fomentando el cuidado de los recursos naturales aprovechables.

Establecer medidas que puedan beneficiar a la acumulación y extracción del agua así como también el tránsito costero para precautelar problemáticas litorales en el futuro.

# BIBLIOGRAFÍA

Ángel, J. D. R. (2005). Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. Universidad Eafit.

Arellano Mera, N. G. (2012). Producción agrícola, medio físico y social en el sector de Wintza parroquia Toacazo (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).

Aspiazu Estrada, Roberto (1981). Carta de Zonificación Geotécnica de la Cuenca de Drenaje de la Presa de Zapotal. Trabajo final para la obtención del título: Ingeniería en Geotécnico Espol. Fict, Guayaquil. 143 p.

Bartolomé, R. (2002). Evolución tectónica del margen continental oeste de México: Fosa Mesoamericana y Golfo de California.

Bizzarri, E. C. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. Terra Nueva Etapa, 15(24), 99-116.

Cantos Victores, G. A. (2018). SUSCEPTIBILIDAD A LAS SEQUÍAS EN EL CANTÓN JIPIJAPA (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).

Capelo Portilla, N. L. (2019). Caracterización de Acuíferos Caso de Estudio en Santa Elena, Ecuador (Bachelor's thesis, Quito).

Cedeno, A. C., Zambrano, X. V., Castro, C. C., Sinichenko, E. K., & Gritsuk, I. I. (2019, November). Water supply and demand of the hydrographic demarcation of Manabi, Ecuador. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 675, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.

Chuim, W., & Leonardo, J. (2020). Evaluación del balance hídrico superficial de la cuenca del río Jipijapa (Bachelor's thesis, Jipijapa-UNESUM).

Clark University. (2015). What's New IRISI 15 The Andes Edition. Massachusetts: Clark Labs.

Desmet, P. J. J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51(5), 427-433.

Diodato, N., & Grauso, S. (2009). An improved correlation model for sediment delivery ratio assessment. *Environmental Earth Sciences*, 59(1), 223-231.

Dominguez, S., Lallemand, S. E., Malavieille, J., & von Huene, R. (1998). Upper plate deformation associated with seamount subduction. *Tectonophysics*, 293(3-4), 207-224.

Dumont, J. F., Santana, E., & Pedoja, K. Sea-cliff/shore platform and estuary: an overlook of the main types of coastal morphology along the Ecuadorian active margins.

Duque, P. (2000). Breve léxico estratigráfico del Ecuador. Sistema de Información Geológica y Minera.

EASTMAN, R. 2006. IDRISI Andes. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Trad. AN Ravelo. Córdoba, Ar., Universidad Nacional de Córdoba. 303 p.

Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M. N., Costa, C., Dart, R. L., & Bradley, L. A. (2003). Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. *US Geological Survey Open-File Report*, 3, 289.

Engelbertz, D. T., Zambrano, J. C., Cedeño, T. E., Alfaro, S. Z., Pico, J. F., Delgado, J. Q., ... & Cárdenas, M. P. (2015). Dinámica de los eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, (14), 80-91.

Fontán, A., Albarracín, S., & Alcántara-Carrió, J. (2009). ESTUDIOS DE EROSIÓN EN COSTAS SEDIMENTARIAS MEDIANTE GPS DIFERENCIAL Y ECOSONDAS MONOHAZ/MULTIHAZ. Alcántara-Carrió, J., Correa, ID, Isla, F., Alvarado, M., Klein, AH F., Cabrera, JA y Barlow, R.(Eds.): Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral. Servicio de publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Madrid, 100-122.



Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1), 1-21.

Fournier, F. (1960). *Climat et érosion*. París:Ed. Presses Universitaires de France.

GARCÍA GARCÍA, L. A. (2011). Estudios para el control erosion que circundan en la zona urbana de la ciudad de JIPIJAPA (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).

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

Gelagay, H. S. (2016). RUSLE and SDR model based sediment yield assessment in a GIS and remote sensing environment; a case study of Koga watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Hydrology: Current Research*, 7, 239.

Horacio, J., Ollero, A., Ballarín, D., & Ibisate, A. (2018). Herramientas para el diagnóstico del ecosistema fluvial. In *Retos y experiencias de restauración fluvial en el ámbito de la Red Natura 2000* (pp. 22-44). Servicio Central de Publicaciones= Argitalpen Zerbitzu Nagusia.

Ismail, J., & Ravichandran, S. (2008). RUSLE2 model application for soil erosion assessment using remote sensing and GIS. *Water resources management*, 22(1), 83-102.

Jinze, M., & Qingmei, M. (1981). SEDIMENT DELIVERY RATIO AS USED IN THE COMPUTATION OF WATERSHED SEDIMENT YIELD. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, 20(1), 27-38. Retrieved December 19, 2020, from <http://www.jstor.org/stable/43945093>

Maia, L. P. (1998). Procesos costeros y balance sedimentario ao lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral.

Marinas, D. I., & Serrato, F. B. *Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos*.

MENOSCAL, P., & DEL PILAR, R. O. C. Í. O. (2011). Estudio de las canteras y la calidad del material petro en el uso de obras civiles del canton JIPIJAPA (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).

Mihi, A., Benarfa, N., & Arar, A. (2020). Assessing and mapping water erosion-prone areas in northeastern Algeria using analytic hierarchy process, USLE/RUSLE equation, GIS, and remote sensing. *Applied Geomatics*, 12(2), 179-191.

Moreno Piña, M. M. (2015). Morfología y Evolución Tecto-Sedimentaria del Cañon Submarino de Esmeraldas a partir de datos batimétricos y de sísmica de alta resolución (Bachelor's thesis, Espol).

Ojeda, A. O. (2007). Territorio fluvial: Diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes (Vol. 17). Fundación Nueva Cultura del Agua.

Ortiz Lozano, L. D., Arceo Briseño, P., Granados Barba, A., Salas Monreal, D., & Jiménez Badillo, M. D. L. (2010). Zona costera.

Ramírez, L. (2010). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta. Tesina Profesional. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.

Pedoja, K., Dumont, J. F., & Ortlieb, L. (2009). Levantamiento Cuaternario costero del Arco de Talara (Ecuador y norte del Perú): cuantificaciones con las secuencias de terrazas marinas. *Geología y Geofísica marina y terrestre del Ecuador desde la costa continental hasta las islas Galapagos*. Comisión Nacional del Derecho del Mar (CNDM), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), Guayaquil, 107-129.

Rivera, J., & Gómez, A. (1991). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). *Cenicafé*, 42(2), 37-52.

Roa Lobo, J. G. (2019). Evaluación y comparación de un modelo de clasificación geomorfométrica automática a partir de dos MDE: SRTM (90m) y ALOS PALSAR (12, 5m).

Rocha, A. (1998). La morfología fluvial y su incidencia en la estabilidad de las obras viales. Recuperado de [http://apiperu.com.pe/Presentaciones/hidraulica/7-FLUVIAL/E-Morfologia\\_Fluvial\\_Nuevo.pdf](http://apiperu.com.pe/Presentaciones/hidraulica/7-FLUVIAL/E-Morfologia_Fluvial_Nuevo.pdf).

Rodríguez Ayala, C. M. (2014). Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los ríos Javita y Zapotal de la península de Santa Elena.

SABANDO CEDEÑO, E. F. (2019). SABANDO CEDEÑO ERICK FABIAN (2019). ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y TURISMO EN LA COMUNIDAD DE PUERTOCAYO, MANABÍ, ECUADOR. Jipijapa. UNESUM. Facultad de Ciencias Economicas. 153pg (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).

Sánchez, Y., Martínez-Graña, A. M., & Yenes, M. (2018). Cálculo del volumen de sedimentos erosionados en la cuenca vertiente del Jerte. *Geogaceta*, 64, 171-174.

Santana, E., Dumont, J. F., & King, A. (2001). CUANTIFICACION DE LA EROSION COSTERA EN RELACION A LA FORMACION DE UNA PLATAFORMA DE ABRASION EN EL SECTOR DE PUNTA GORDA, ESMERALDAS. *Acta Oceanográfica del Pacifico*, 11(1), 1-5.

Santana, E., Dumont, J. F., Armas, V., Burbano, L., Gutierrez, L., & Valdez, F. (2004). Evolución morfológica de la costa en la península de Santa Elena; Evidencias de plataformas marinas y socavones superpuestos. *Acta Oceanográfica del Pacifico*, 12, 155-167.

Serrato, F. B., Díaz, A. R., & Sinoga, J. D. R. (2013). Retroceso de la línea de costa en playas del sur de la Región de Murcia. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 17, 443.

Soledispa, B. (2009). Características geomorfológicas y sedimentológicas de la Bahía de Santa Elena.

Tiwari, A. K., & Risse, L. M., Nearing, MA, 2000, Evaluation of wepp and its comparison with usle and rusle. *Transaction of the ASAE*, 43(5), 1129-1135.

Veloz Pin, J. L. (2016). Vulnerabilidad del sistema vial principal de la zona suroeste de la cuenca Zapotal (provincia de Santa Elena), relacionada con la red drenaje ante la ocurrencia de un fenómeno " EL NIÑO" (Master's thesis).

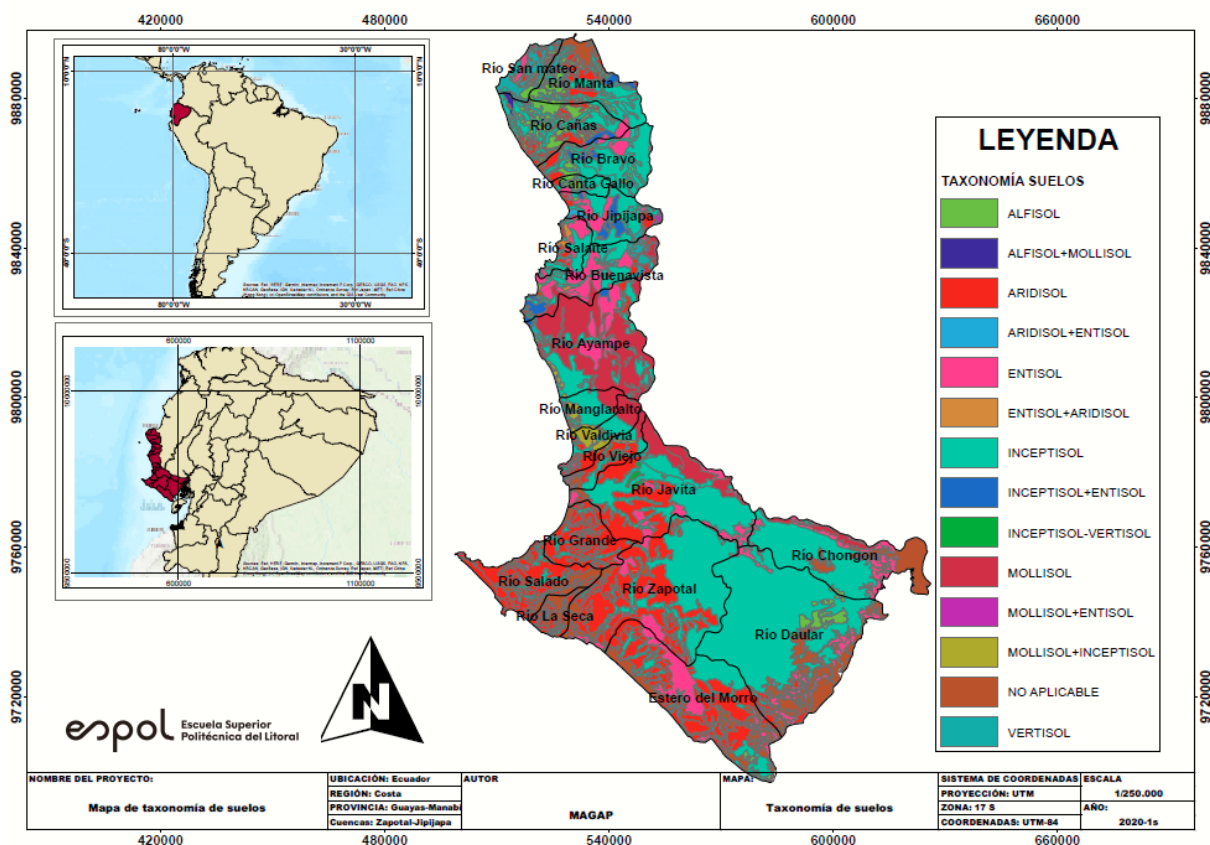
Villalva Arias, C. A. (2017). Caracterización hidrogeológica de la Subcuenca Cantagallo-Jipijapa mediante la aplicación de sondeos eléctricos verticales (Bachelor's thesis, Quito: UCE.).

Williams, J. R., & Berndt, H. D. (1972). Sediment yield computed with universal equation. *Journal of the Hydraulics Division*, 98(Hy 12).

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

Wu, L., Liu, X., & Ma, X. Y. (2018). Research progress on the watershed sediment delivery ratio. *International Journal of Environmental Studies*, 75(4), 565-579.

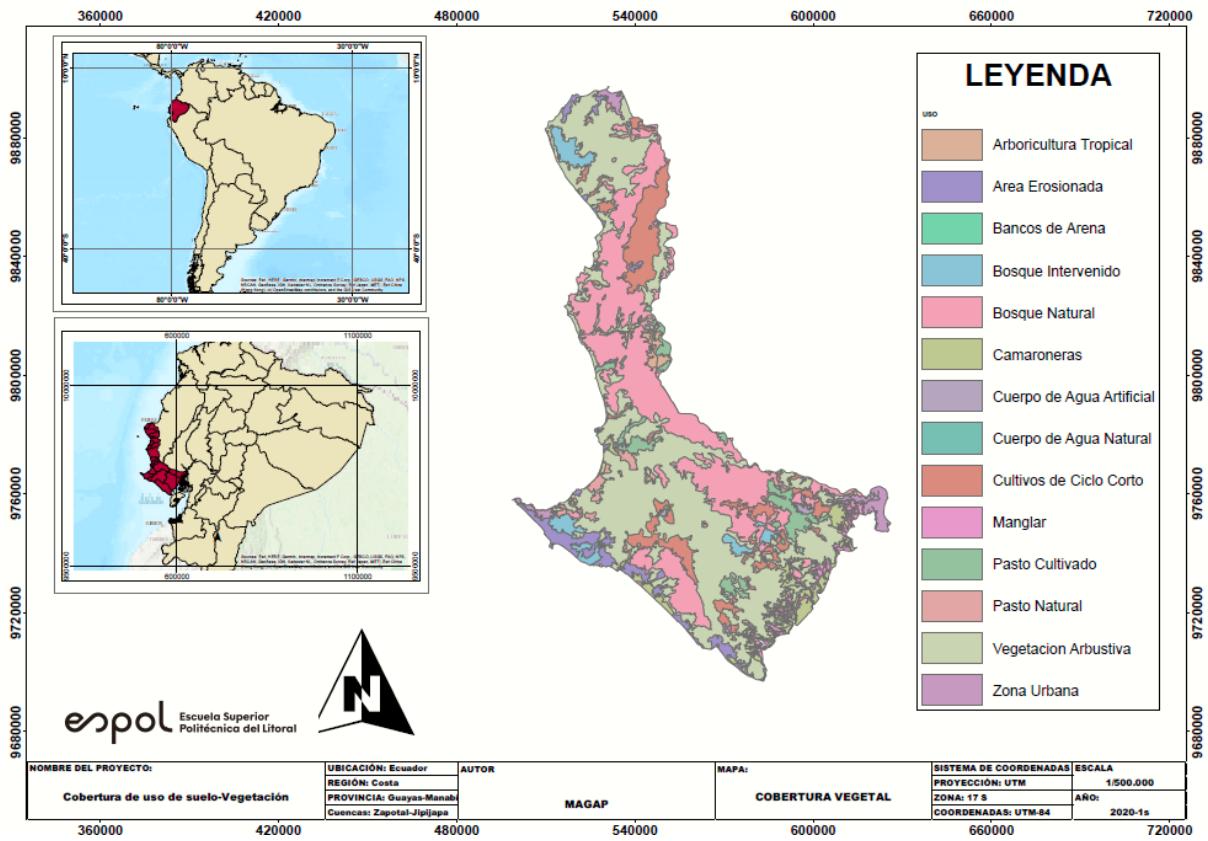
# APÉNDICES



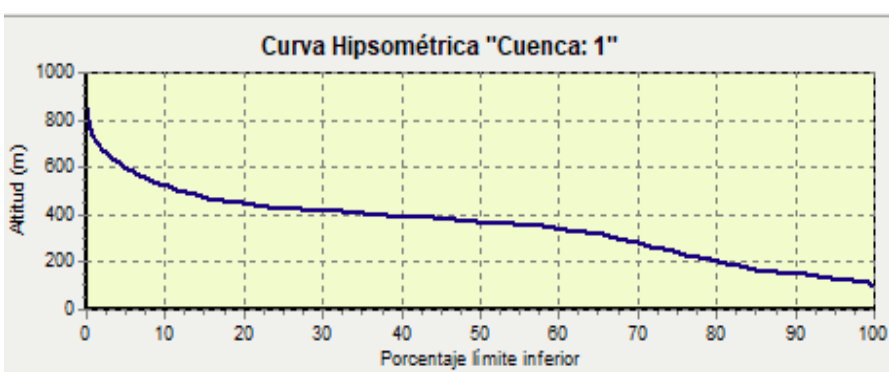
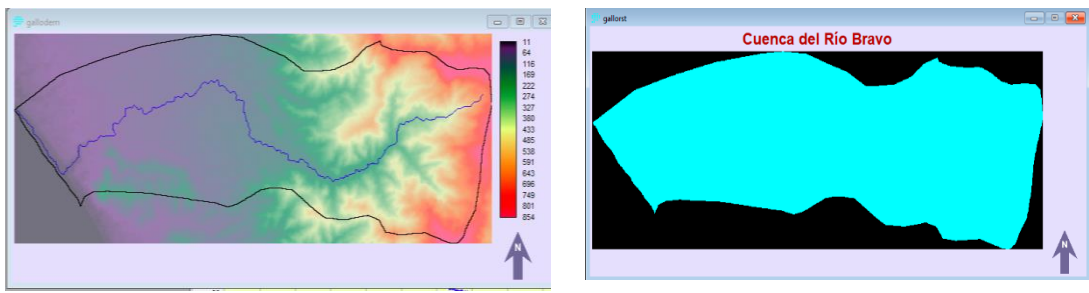
Apéndice A.1 Mapa de uso de suelo escala 1:500 000

TIPOS DE SUELO PRINCIPALES Y COMPOSICIÓN								
	% Arena	% Limo	% Arcilla	% M.O	F.Arena	F.Arc-Limo	F.MO	F. Hsand
ALFISOLES	59.9	13.4	26.7	0.73	0.280	0.720	0.967	0.320
MOLISOLES	31.2	39.6	29.2	3.95	0.385	0.847	0.750	0.313
VERTISOL	22.4	24.5	53	0.69	0.395	0.708	0.972	0.316
ARIDISOL	47.8	8.5	43.8	0.38	0.298	0.580	0.993	0.323
INCEPTISOLES	36.4	37.2	26.4	1.07	0.367	0.851	0.905	0.313
ENTISOLES	91.9	3.2	5	0.23	0.231	0.754	0.997	0.325
ALFISOL+MOLISOL	45.55	26.5	27.95	2.34	0.327	0.806	0.754	0.316
ARIDISOL+ENTISOL	69.85	5.85	24.4	0.305	0.256	0.611	0.996	0.324
INCEPTISOL+ENTISOL	64.15	20.2	15.7	0.65	0.281	0.842	0.976	0.318
INCEPTISOL-VERTISOL	29.4	30.85	15.88	0.352	0.378	0.883	0.994	0.315
MOLLISOL+ENTISOL	61.55	21.4	17.1	2.09	0.287	0.838	0.760	0.317
MOLLISOL+INCEPTISOL	33.8	38.4	27.8	2.51	0.376	0.849	0.752	0.313

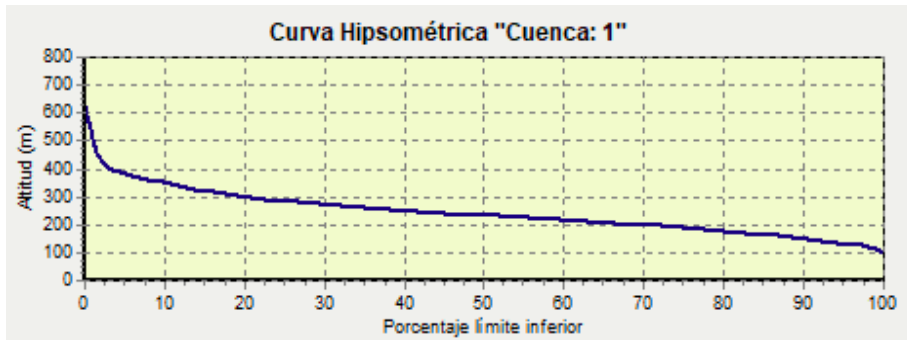
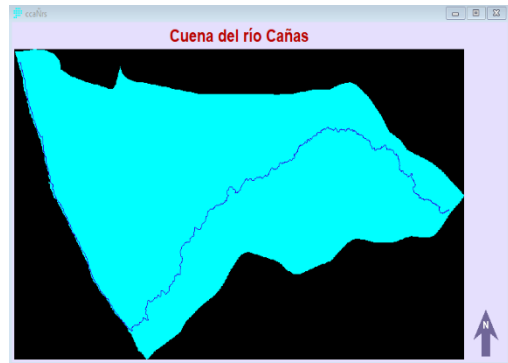
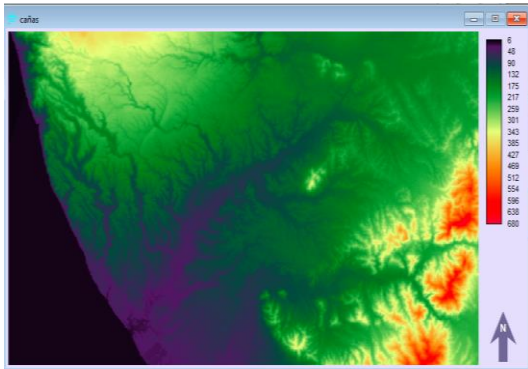
Apéndice A.2 Contenido de arena, limo, arcilla y materia orgánica de suelos presentes en cuenca Zapotal y Jipijapa



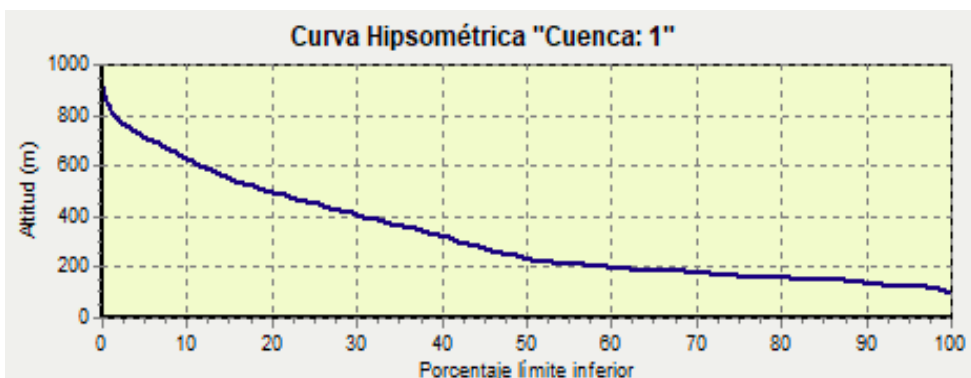
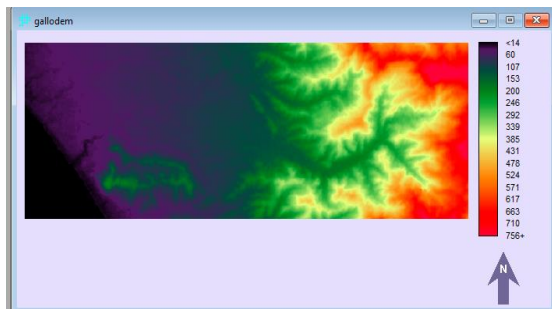
Apéndice A.3 Mapa de uso de cobertura vegetal cuencas Zapotal y Jipijapa 1:250 000



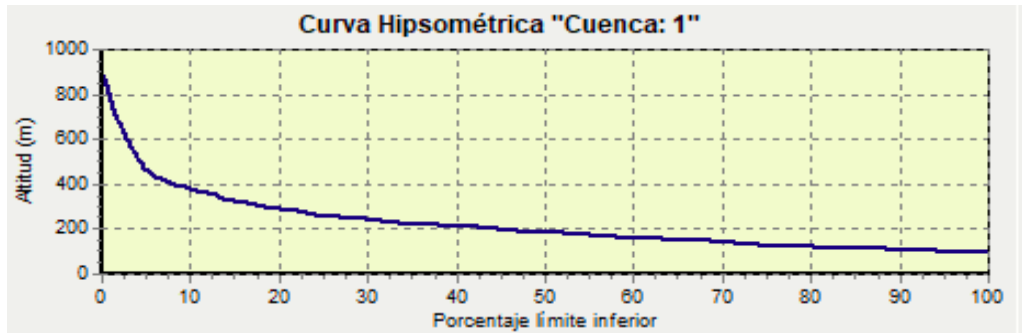
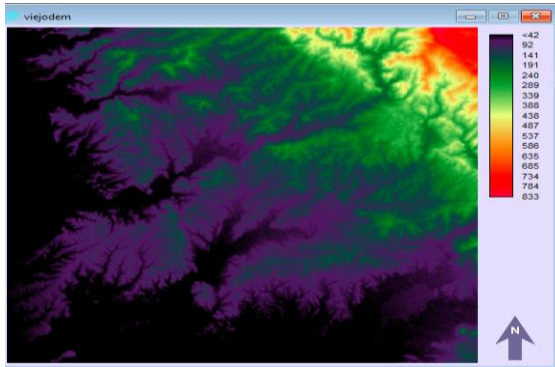
Apéndice A.4 Curva Hipsométrica de la subcuenca del río Bravo



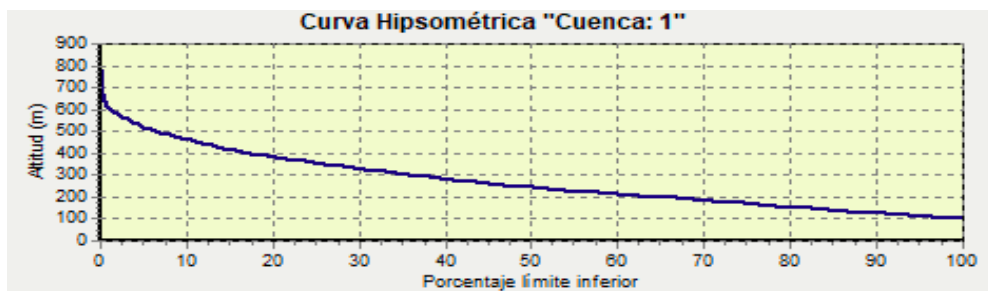
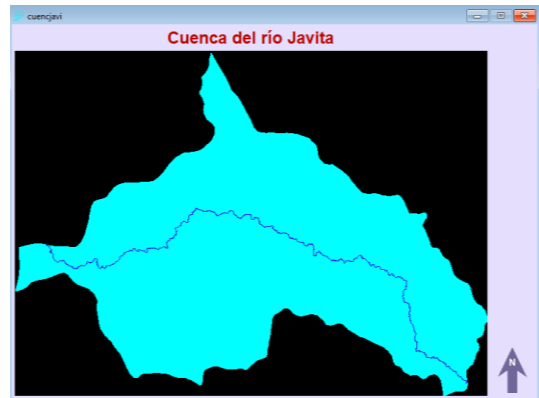
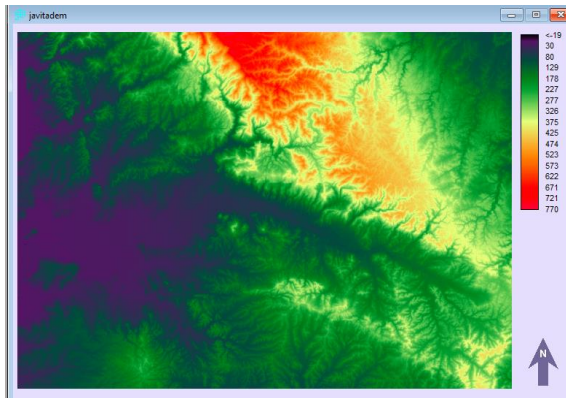
Apéndice A.5 Curva Hipsométrica de la subcuenca Cañas



Apéndice A.6 Curva Hipsométrica de la subcuenca Cantagallo

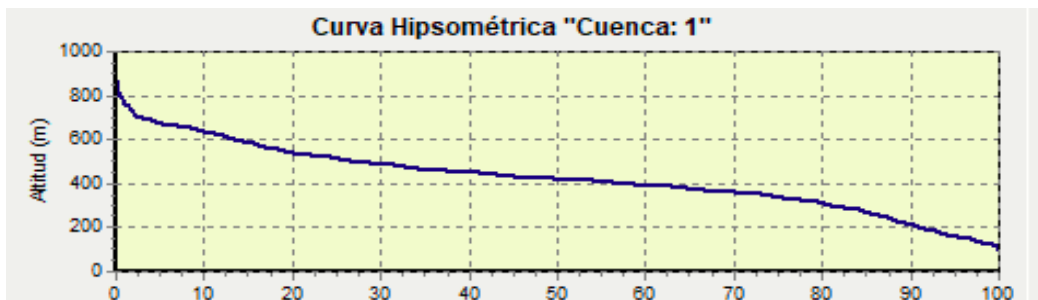
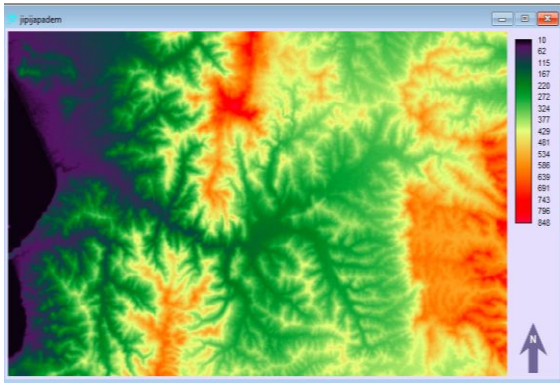


Apéndice A.7 Curva Hipsométrica de la subcuenca de río Viejo

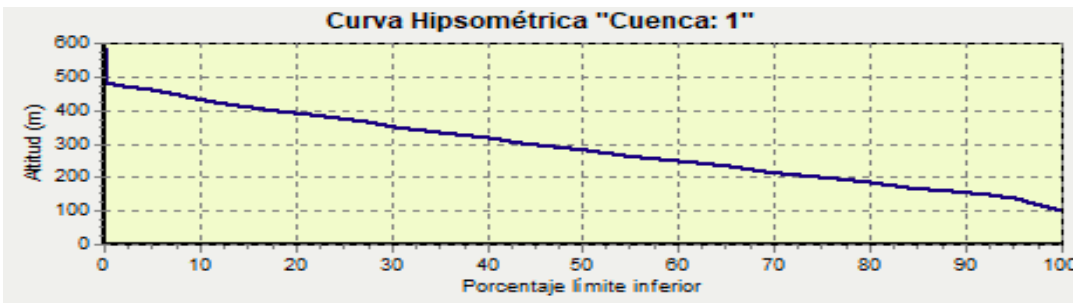
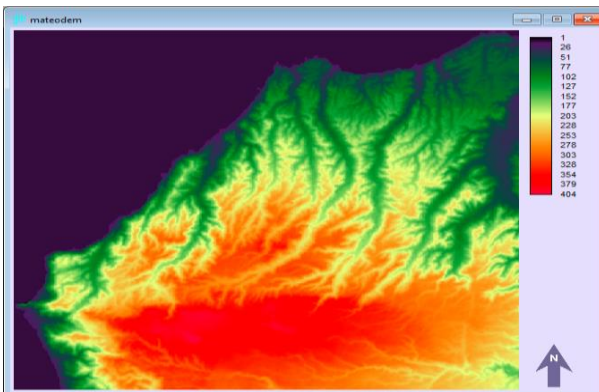


Apéndice A.8 Curva Hipsométrica de la subcuenca Javita

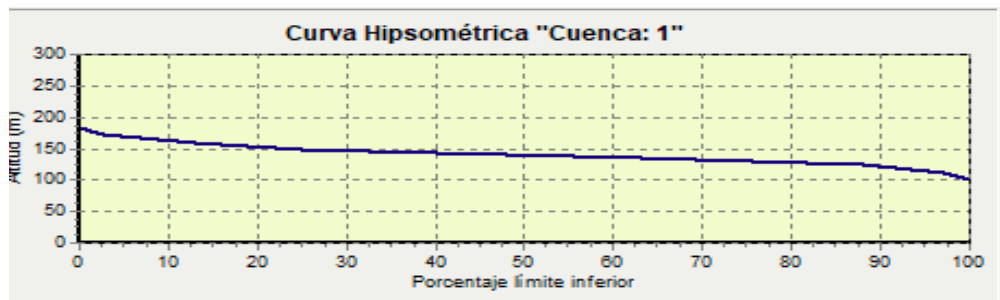
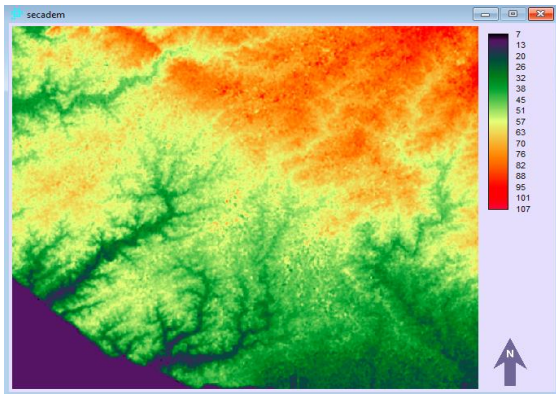




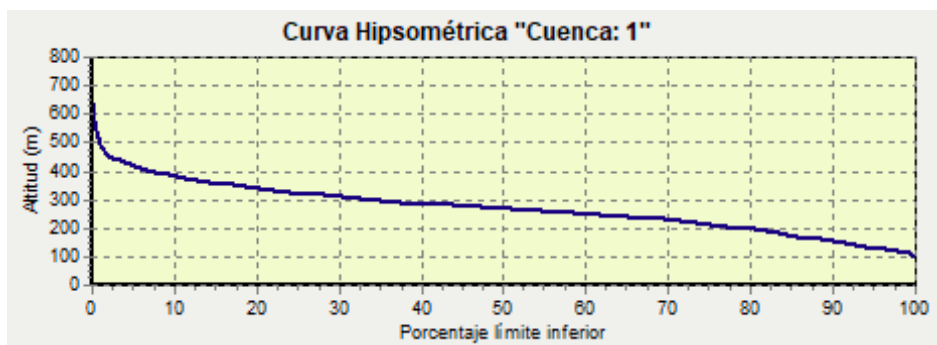
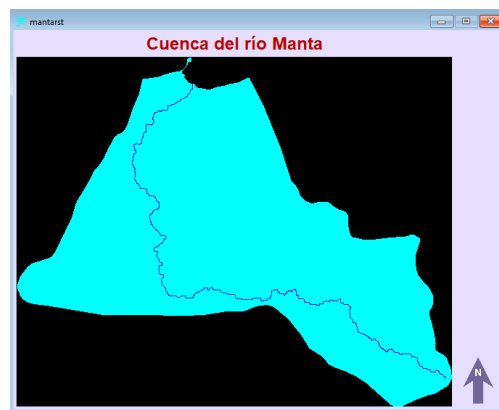
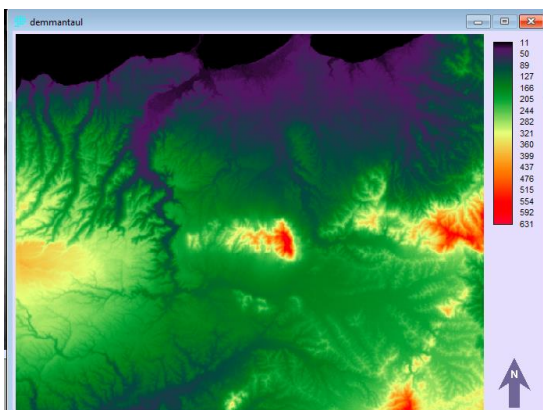
Apéndice A.9 Curva Hipsométrica de la subcuenca Jipijapa



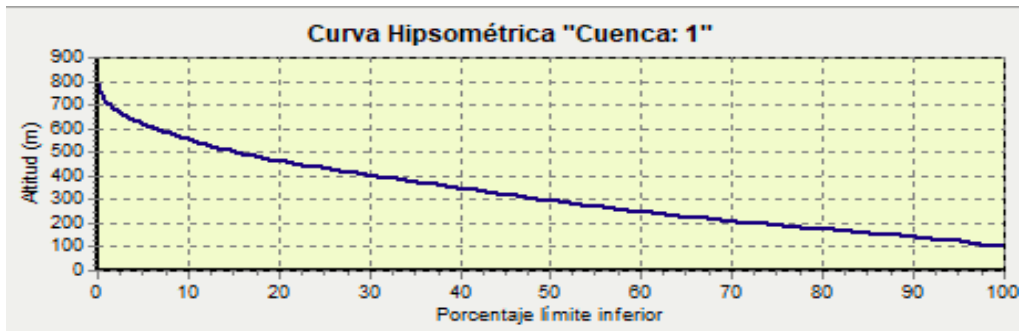
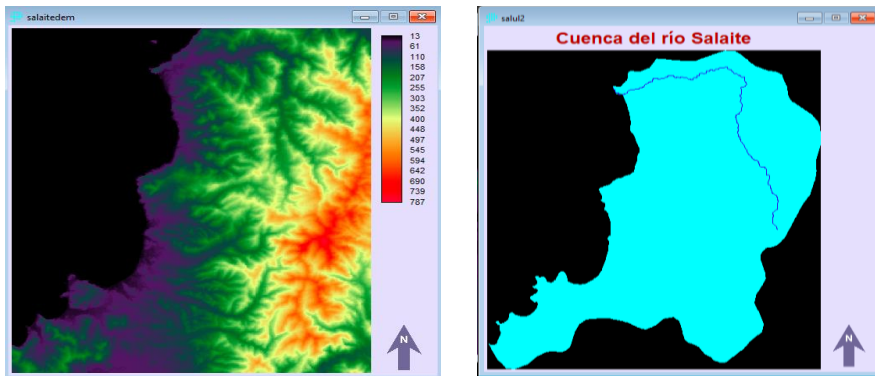
Apéndice A.10 Curva Hipsométrica de la subcuenca San Mateo



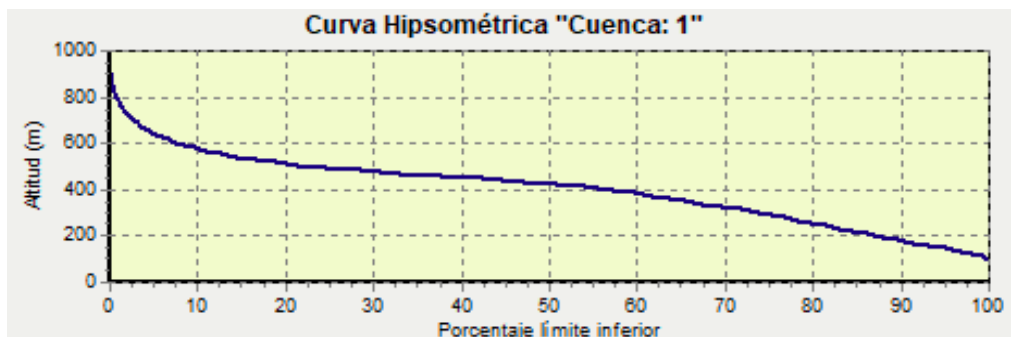
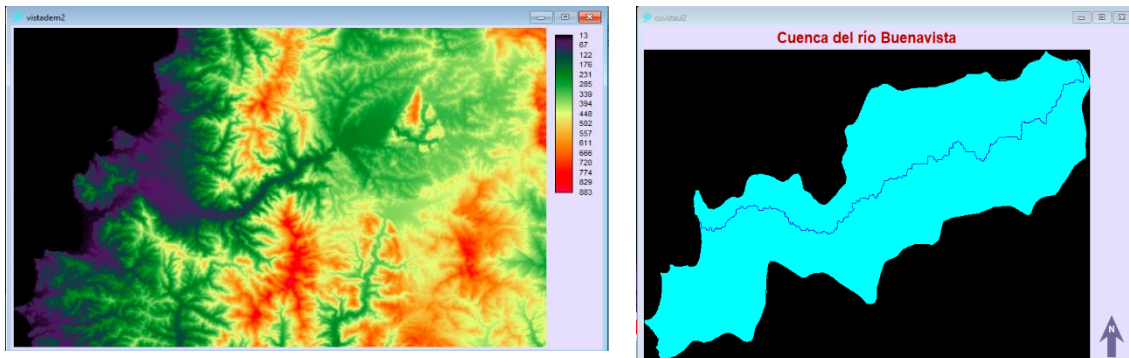
Apéndice A.11 Curva Hipsométrica de la subcuenca La Seca



Apéndice A.12 Curva Hipsométrica de la subcuenca Manta



**Apéndice A.13 Curva Hipsométrica de la subcuenca Salaite**



**Apéndice A.14 Curva Hipsométrica de la subcuenca Buenavista**

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS SUBCUENCAS									
SUBCUENC A	RIO	PENDIENTE RIO PRINCIPAL%	ÁREA (km2)	LONGITUD (Km)	LONGITUD DE DRENAJE	ELEVACIÓN MEDIA CUENCA	PENDIENTE MEDIA CUENCA %	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	DENSIDAD DE DRENAJE
Ayampe	Ayampe	26.92%	711.065	31.105	282.474	376.620	34.085	640.16	0.397
	Pinas	25.79%							
	Blanco	31.02%							
Bravo	Sangán	15.92%	326.18	20.97	153.535	265.640	18.990	848.530	0.471
	Amargo	11.38%							
	Río Bravo	11.05%							
Buenavista	Buenavista	18.11%	352.06	33.66	144.956	314.370	28.630	673.750	0.412
Cantagallo	Cantagallo	11.29%	66.32	15.52	34.746	234.680	22.480	813.411	0.524
Cañas	Cañas	9.77%	357.7	34.88	151.026	155.600	13.170	1213.080	0.422
Chongón	Chongón	5.29%	593.182	29.974	258.809	104.390	13.394	339.691	0.436
	Perdido	14.39%							
Daule	Daular	8.04%	1336.11	44.403071	544.465	61.550	9.435	549.245	0.408
Grande	Grande	8.20%	259.25	18.09	110.475	77.260	9.703	1218.118	0.426
Javita	Javita	6.30%	813.02	48.91	325.906	204.190	19.550	700.227	0.401
	Balsas	76.20%							
Jipijapa	Jipijapa	19.23%	253	6	103.990	338.090	28.070	644.933	0.411
La Seca	La Seca	7.10%	93.41	14.62	41.024	52.080	7.310	1202.934	0.439
Manglaralto	Manglaralto	26.72%	133.06	17.428	56.563	164.680	24.950	819.790	0.425
Manta	Manta	16.26%	360.88	28.04	161.214	183.720	13.260	1304.822	0.447
	Estero Bajo	10.46%							
Morro	Morro	5.01%	828.759	21.033085	362.802	54.080	7.094	779.406	0.438
Salado	Vegas	6.59%	339.353	11.761236	118.701	49.470	5.790	1482.090	0.350
Salaite	Salaite	31.09%	124.74	10.4	39.069	236.360	32.840	783.299	0.313
San Mateo	San Mateo	18.95%	136.14	4.46	58.837	197.950	20.310	1805.260	0.432
Valdivia	Valdivia	11.39%	164.52	13.692	70.087	173.530	22.155	803.775	0.426
Viejo	Viejo	8.21%	141.26	26.47	76.300	14	15.910	708.140	0.540
Zapotal	Zapotal	6.57%	1034.43667	26.234	438.821	99.28	10.158	923.451	0.424
	De azúcar	6.45%							
	Enanitos	6.11%							

### Apéndice A.15 Parámetros morfométricos de las cuencas Zapotal y Jipijapa

Cobertura	FACTOR C Mora 1987	FAO 1989	ICE 1999	Saborío 2002 Gómez 2002 CATIE 2003	Marchamalo 2004, 2007	Lianes 2009
<b>Bosque</b>						
Bosque primario	0,0001					
Bosque natural		0,003	0,001-0,003			0,003
Selva virgen		0,001				
Bosque denso				0,003-0,010		
Bosque claro, sustrato herbáceo denso				0,003-0,010		
Bosque claro, sustrato herbáceo degradado				0,010-0,100		
Bosque secundario		0,007			0,003	
Charral, pasto	0,018					
Charral					0,012	
Bosque degradado						0,037
<b>Matorral/Pastos</b>						
Matorral denso				0,003-0,030		
Matorral claro, sustrato herbáceo denso				0,003-0,030		
Matorral claro, sustrato herbáceo degradado				0,030-0,100		
Páramo				0,003-0,040		
Pasto		0,009	0,01-0,015		0,013	
Pasto (natural o mejorado)		0,008				
Vegetación natural baja (altura:50cm)		0,012				
Pastizal natural completo				0,030-0,010		
Pastizal natural pastoreado				0,040-0,200		
Pastizal cultivado (manejado)				0,003-0,040		
Pasto de corta						0,012
Potrero						0,013
Potrero carga normal						0,002
Potrero degradado						0,002
Potrero muy degradado						0,016
<b>Cultivos permanentes</b>						
Café, café con macadamia o pejibaye	0,300					
Cultivos perennes		0,079	0,086			
Café		0,09			0,080	
Banano		0,062				
Cacao		0,05				
Cultivos permanentes asociados (densos)				0,010-0,300		
Cultivos permanentes no densos				0,100-0,450		
Huertos de subsistencia				0,300-0,900		
Árboles frutales						0,003
<b>Cultivos anuales</b>						
Caña, caña brava	0,050					
Cultivos anuales		0,495	0,340			
Papa-zanahoria o papa-cebolla		0,615				
Maíz		0,519				
Tomate/chile dulce		0,502				
Caña		0,263			0,050	
Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0,300-0,800		
Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0,400-0,900		
Cultivos (cobertura baja)					0,650	
Cultivos (cobertura media)					0,500	
Cultivos (cobertura alta)					0,400	
Papa- brócoli						0,260
Papa-zanahoria						0,300
Papa-zanahoria-papa						0,390
Papa-papa-brócoli						0,390
Papa-zanahoria-brócoli						0,360

**Apéndice A.17 Factor C dependiendo del tipo de vegetación y cobertura vegetal  
[Arellano, 2012]**