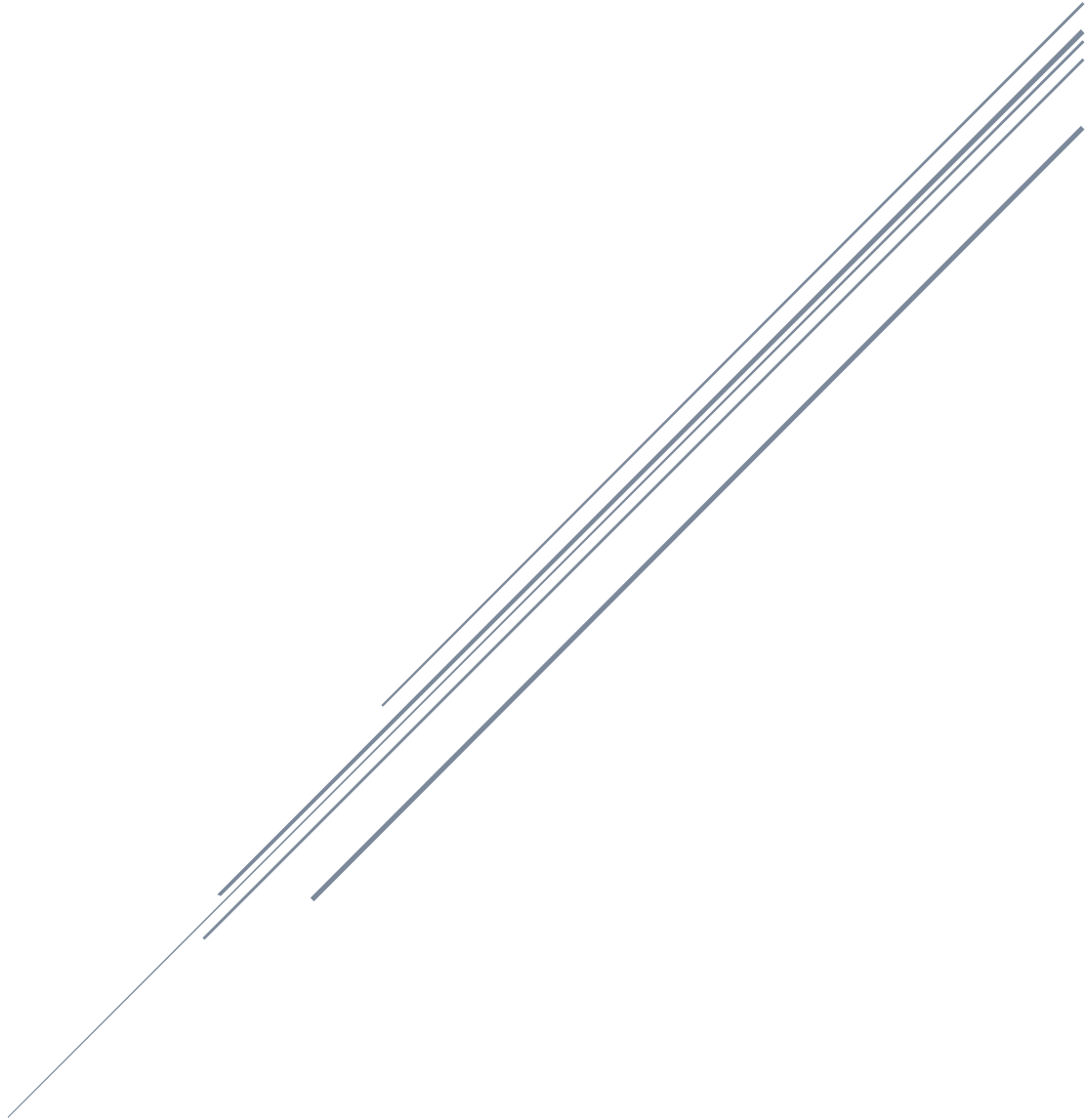


# SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES

Cuenca Río Apancoyo



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
DIRECCIÓN DEL OBSERVATORIO AMBIENTAL  
GERENCIA DE HIDROLOGÍA



## Contenido

Introducción.....	5
Caracterización en el Área de Estudio .....	6
a. Ubicación.....	6
b. Geología .....	7
c. Hidrografía .....	7
d. Clima .....	8
e. Precipitación .....	9
f. Evapotranspiración Potencial.....	10
g. Vegetación.....	11
h. Características Geomorfológicas.....	12
i. Área de la Cuenca.....	12
j. Tipo de Suelos .....	13
k. Uso de Suelos.....	14
l. Conflicto de Uso de Suelo .....	15
m. Orden de corriente.....	16
n. Densidad de drenaje.....	17
o. Forma de las cuencas.....	18
p. Pendiente media de la cuenca.....	19
q. Pendiente media del cauce principal .....	20
r. Curva Hipsométrica.....	21
s. Histograma de Frecuencias Altimétricas.....	22



Modelación hidrológica.....	23
a. Modelo de Cuenca.....	24
b. Determinación de hietogramas de diseño.....	25
c. Resultados.....	27
Modelación Hidráulica .....	27
a. Resultados.....	28
Generación de Umbrales de Río.....	28
Generación de Umbrales de Precipitación .....	30
Red de Observadores Locales.....	32
Propuesta de Sitios Para Instalación de Pluviómetros.....	32
Trabajos citados.....	34



## Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de Sistemas de Alerta Temprana por Inundación en El Salvador. ....	5
Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río Apacoyo .....	6
Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río Apacoyo .....	7
Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Apacoyo .....	8
Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río Apacoyo .....	9
Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001).....	10
Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001).....	11
Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca Río Apacoyo .....	12
Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca Río Apacoyo.....	13
Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003..	14
Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca del Río Apacoyo.....	15
Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río Apacoyo.....	16
Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca del Río Apacoyo.....	17
Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río Apacoyo .....	20
Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río Apacoyo .....	21
Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Apacoyo .....	21
Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río Apacoyo.....	22
Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS.....	24
Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para 1 día y un Periodo de Retorno de 100 años .....	26
Figura 20: Hietograma de Diseño para un periodo de retorno de 100 años .....	26



Figura 21: Hidrograma de diseño para Cantón Salinas de Ayacachapa y un Periodo de Retorno de 100 años .....	27
Figura 22: Sección Transversal en Río Apancoyo en el cantón Salinas de Ayacachapa con un Periodo Retorno de 10 años.....	28
Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río Apancoyo .....	29
Figura 24: Umbrales de Nivel de Río en Cantón Melara .....	30
Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con $T_r = 25$ años .....	31
Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros .....	33

## Índice de Tablas

Tabla 1: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río Apancoyo .....	18
Tabla 2: Valor del factor de forma “Kf” en la cuenca Río Apancoyo .....	18
Tabla 3: Valores de Índice de Gravelius en la Cuenca del Río Apancoyo .....	19
Tabla 4: Parámetros calculados en la Cuenca del Río Apancoyo .....	23
Tabla 5: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca Río Apancoyo .....	25
Tabla 6: Precipitación Promedio Para distintos Periodos de Retorno en la Cuenca del Río Apancoyo.....	25
Tabla 7: Umbrales de Nivel de Río Apancoyo en Cantón Salinas de Ayacachapa.....	30
Tabla 8: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río Apancoyo .....	31
Tabla 13: Red de Observadores Locales en Río Apancoyo .....	32

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Alerta Temprana representan uno de los muchos componentes enfocados a la reducción del riesgo y el cual está diseñado para advertir con la debida anticipación de un riesgo potencial o problema inminente a la población. El desarrollo de herramientas de análisis de la amenaza, el monitoreo continuo y la participación de la Red de Observadores locales son los componentes que conforman a un Sistema de Alerta Temprana.

En El Salvador, Los Sistemas de Alerta Temprana empezaron a implementarse en 1998 debido a los estragos ocasionados por el Huracán Mitch, el cual dejó a 240 personas fallecidas, 84,000 personas afectadas y más de USD\$388.1 millones en pérdidas. Entre los años 2002 y 2005 se implementaron 5 sistemas de alerta temprana por inundaciones en los ríos Paz, Grande de San Miguel, Lempa, Goascorán y Jiboa; los cuales actualmente siguen en funcionamiento.

Entre los años 2005 – 2015 se implementaron 21 sistemas de alerta temprana entre los que destacan los ríos Apancoyo, Huiza Acahuapa y Titihuapa. Actualmente se pretende reforzar a la cuenca del Río Apancoyo, en la red de Sistemas de Alerta Temprana implementado anteriormente, con el fin de mejorar la alerta anticipada y proteger la vida y la propiedad ante las amenaza de eventos hidrometeorológico.

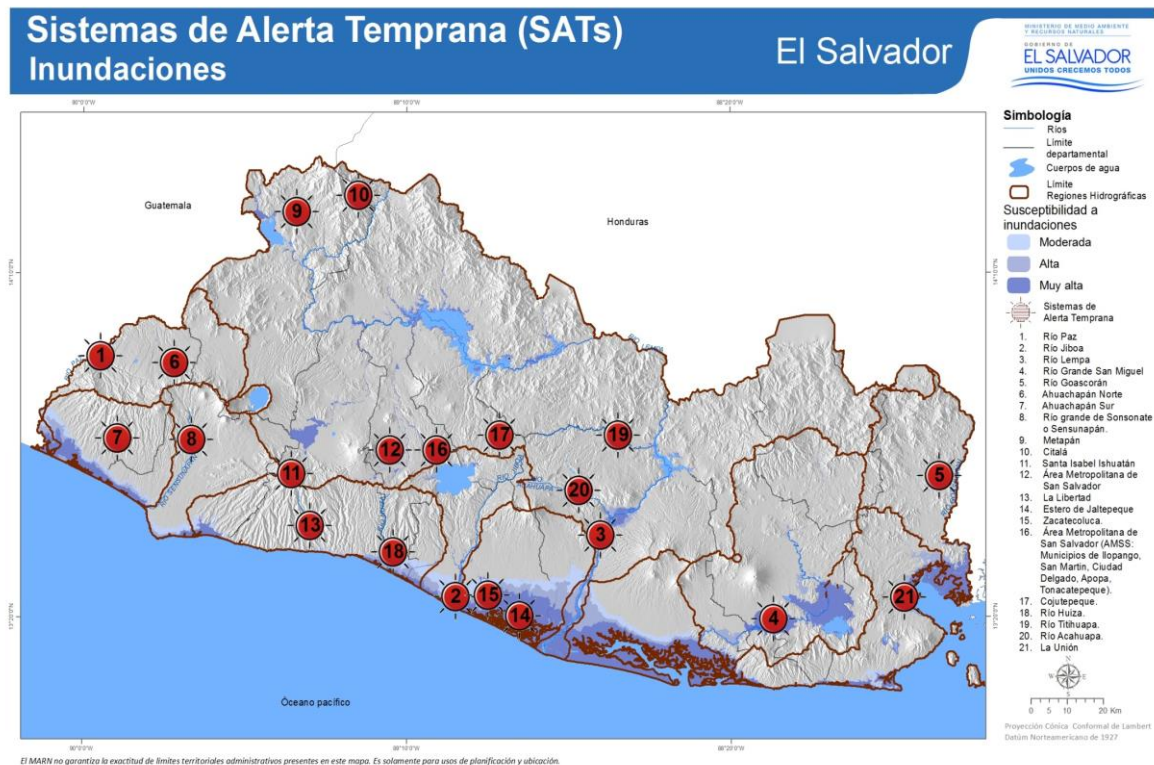


Figura 1: Mapa de Sistemas de Alerta Temprana por Inundación en El Salvador.

## CARACTERIZACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

### a. Ubicación

La cuenca del río Apancoyo se encuentra ubicada dentro de la región hidrográfica “E” o Mandinga – Comalapa, dicha región está comprendida por pequeñas cuencas situadas entre la Cordillera del Bálsamo y la Costa del Océano Pacífico, en los departamentos de Sonsonate, San Salvador, La Libertad y La Paz.

El Río Apancoyo nace en los alrededores de la cordillera del Bálsamo y transita los municipios Cuisnahuat y Santa Isabel Ishuatán hasta desembocar en el cantón Barra Salada, el cual pertenece al municipio de Sonsonate.

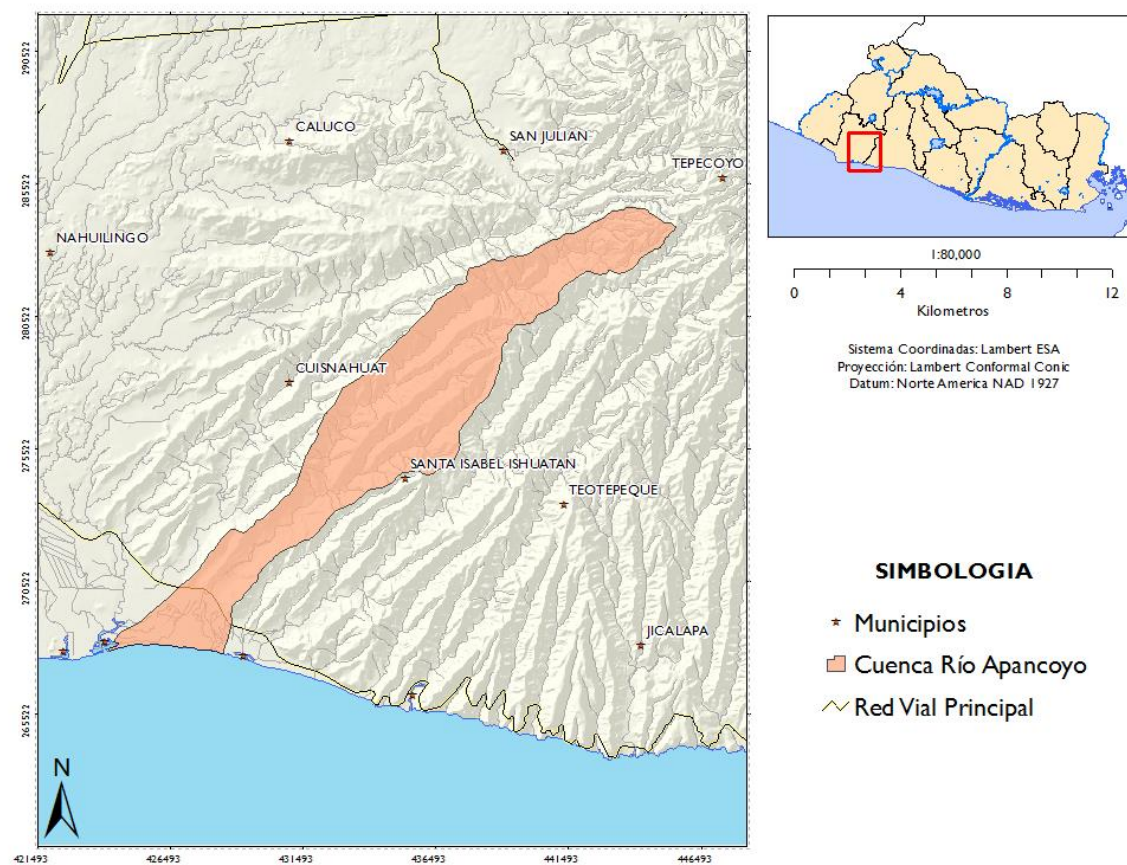


Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río Apancoyo



## b. Geología

De acuerdo a la geología dentro del río Apancoyo: el 16% de la cuenca está contemplada por una formación geológica San Salvador, la cual está formada por piroclásticos ácidos, con intercalaciones de lavas básicas (Basálticas – Andesíticas), tobas color café y materiales aluvionales. De igual forma, 84% restante de la cuenca, está conformada por una formación Geológica del Bálsamo, la cual es la más antigua de las dos y asimismo está formada por aglomerados, lavas básicas e intermedias con intercalación de fanglomerados y límolitas. (Gobierno de la Republica de El Salvador - Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo, 1981)

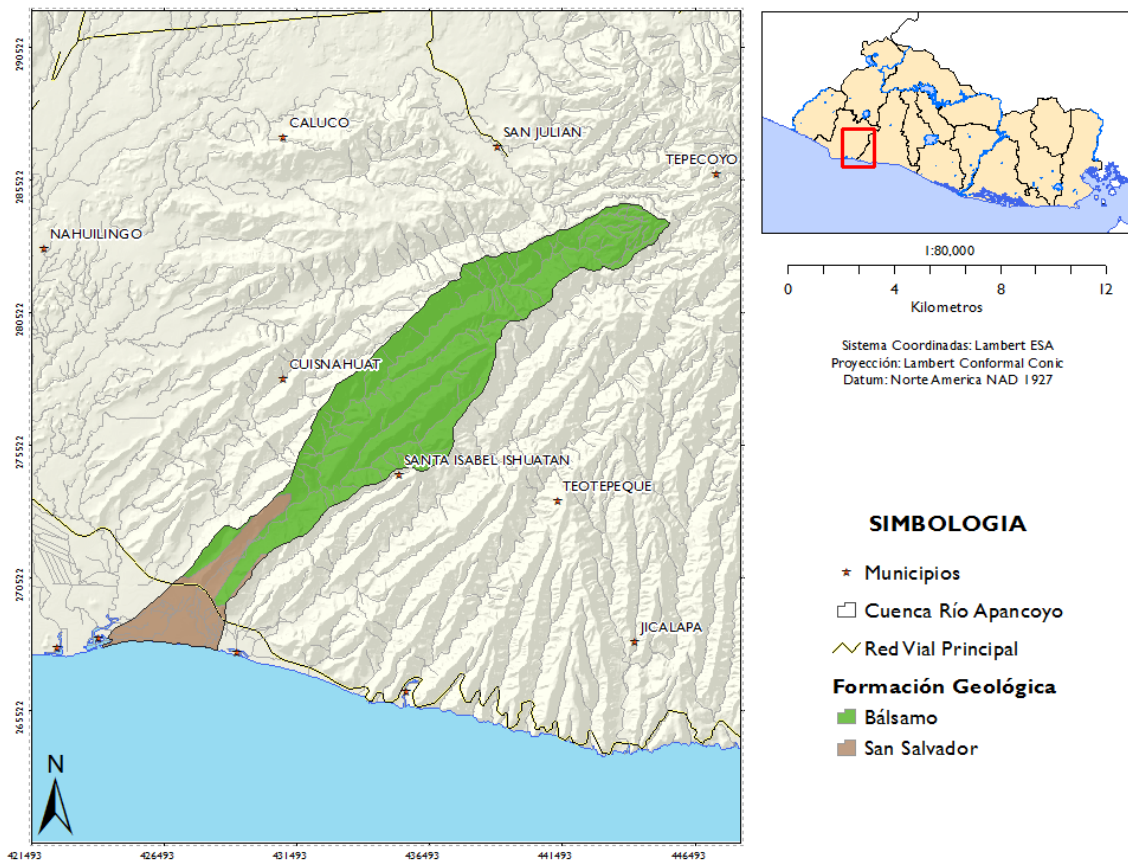


Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río Apancoyo

## c. Hidrografía

La red hídrica que contiene a la cuenca del Río Apancoyo nace en la cordillera del Bálsamo, aproximadamente a los 1,500 m.s.n.m. y tiene como afluente principal a la Quebrada Ojushteo, el cual nace en el municipio de Santa Isabel Ishuatán. El tipo de cuenca es exorreica, ya que el punto de salida se encuentra se encuentra en el mar. Asimismo, el tipo de drenaje es



dendrítico, con un ángulo de llegada menor a los 90 grados. El drenaje en la zona baja se torna muy dinámico, debido a la consistencia del material aluvial contemplado como planicie costera, por el cual el cauce del río tiende a cambiar constantemente.

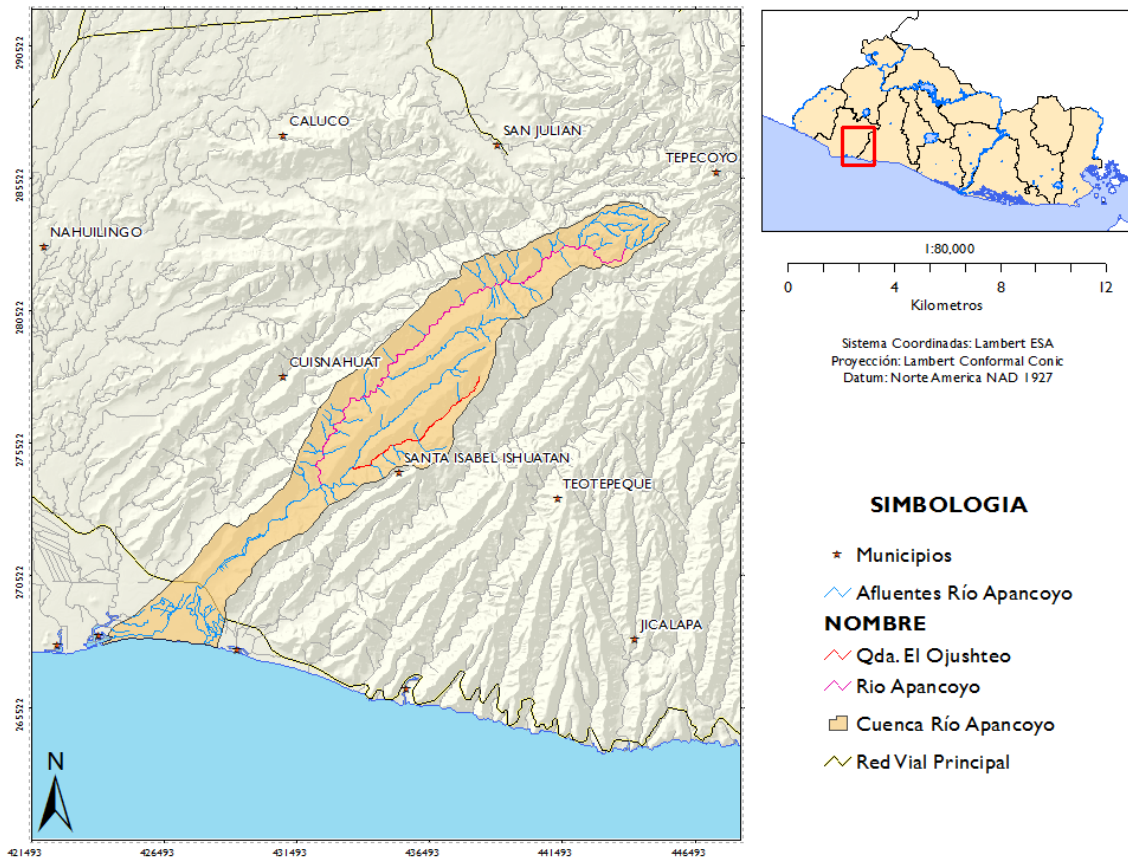


Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Apancoyo

#### d. Clima

La cuenca en estudio se divide en tres zonas climáticas de acuerdo a la clasificación de Köppen, Sapper y Laver.

- Sabana tropical caliente o tierra caliente

Incluye las áreas con elevación entre 0 a 800 m.s.n.m. El 75% de toda la región muestra variaciones de temperatura entre 22-27°C en la planicie costera, y 22-28°C en la planicie interior. Es una zona apta para desarrollo de pasto no mejorados y cultivos permanentes en una cota mayor de 500 m.s.n.m.

- Sabana tropical calurosa o tierra templada

Esta zona incluye las áreas con elevaciones entre los 800 m.s.n.m. y los 1,200 m.s.n.m., registrándose temperaturas anuales entre los 20-22°C, disminuyendo a los 19°C en las faldas de la montaña. Es una zona apta para desarrollo de pastos no mejorados y cultivos permanentes o usos forestal.

- Clima tropical de las alturas. Tierra templada.

En esta zona se ubican áreas entre los 1,200 y 1,800 m.s.n.m., registrándose temperaturas anuales entre los 16-20°C, con posibilidades de heladas en los meses de diciembre y enero.

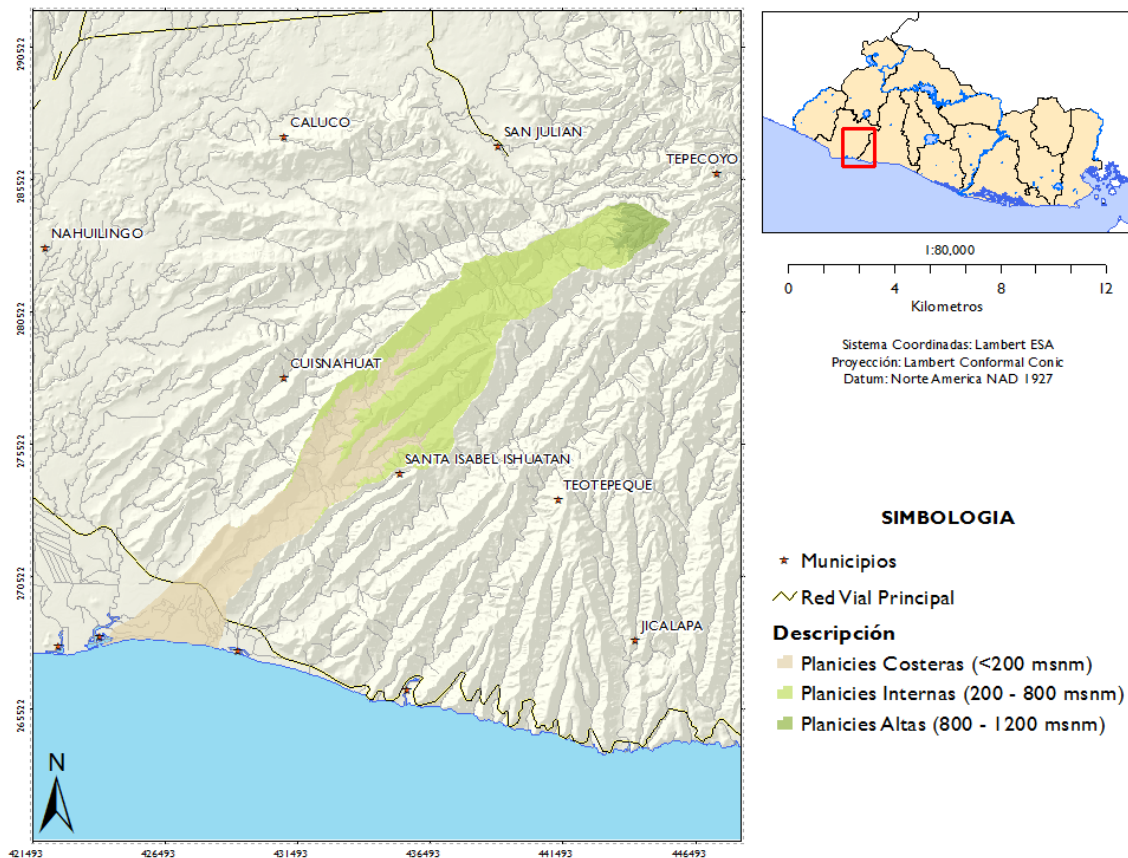


Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río Apancoyo

### e. Precipitación

De acuerdo al Balance Hídrico Integrado (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2005), la cuenca del río Apancoyo tiene una Precipitación Promedio Anual (1971-2001) que varía

entre un máximo anual de 1,700 mm, un mínimo anual de 1,950 mm y un promedio anual de 1,825 milímetros de precipitación.

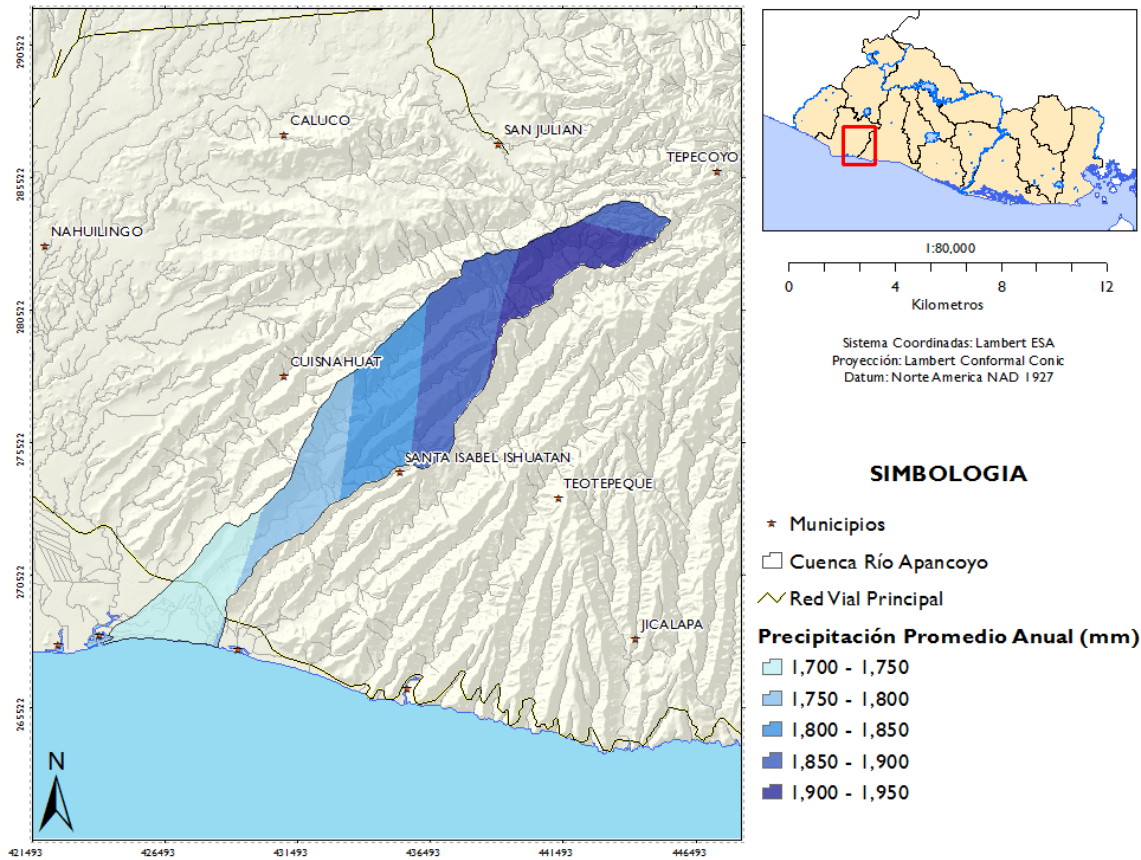


Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001)

#### f. Evapotranspiración Potencial

Se define como la evapotranspiración que se produciría se la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (Thornthwaite, 1948). El mapa de evapotranspiración potencial media anual del Balance Hídrico Integrado y Dinámico (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2005) nos muestra que la evapotranspiración potencial promedio anual es de 1,836 mm, así como un valor máximo de evapotranspiración potencial de 1,900 mm y 1,762 mm como valor mínimo.



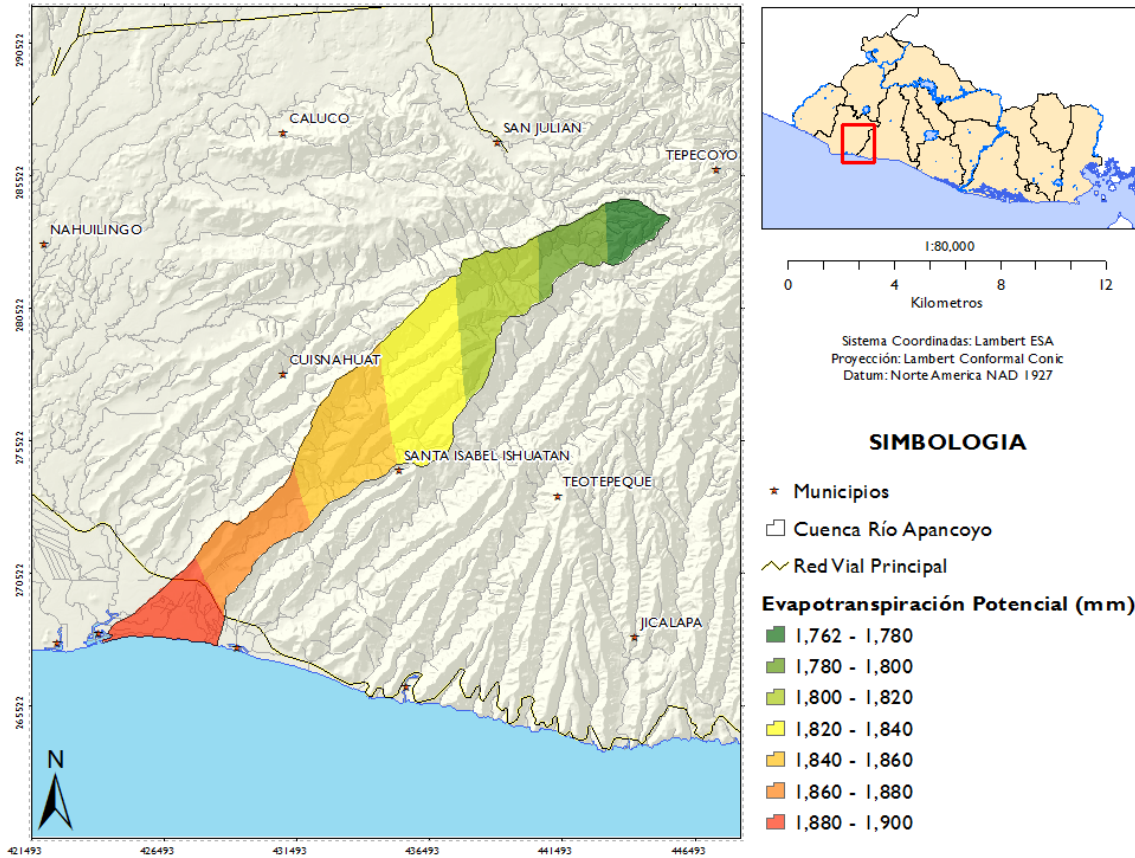


Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001)

En general, la orientación del cauce principal de drenaje, influye en el aumento o en la reducción de la evapotranspiración. La orientación de la cuenca nos permite una reducción en el valor de la evapotranspiración, ya que se tiene una menor cantidad de horas de sol diarias. Otro punto importante que influye en el valor de evapotranspiración es el uso de suelo que se tenga, ya que el Coeficiente Global de Desarrollo “Kg” es distinto para cada uso de suelo que se tenga.

### g. Vegetación

El mapa de vegetación de El Salvador nos muestra que el 45% de la cuenca está siendo ocupado por Sistemas Productivos con vegetación leñosa natural o espontánea. Asimismo, un 38% está siendo ocupado por Zonas de Cultivos Permanentes, los cuales son en su mayoría Cafetales, localizados en las zonas altas. Cabe resaltar que en la zona de desembocadura del río se encuentra una zona de Manglar el cual ocupa un 2% del área total de la cuenca.

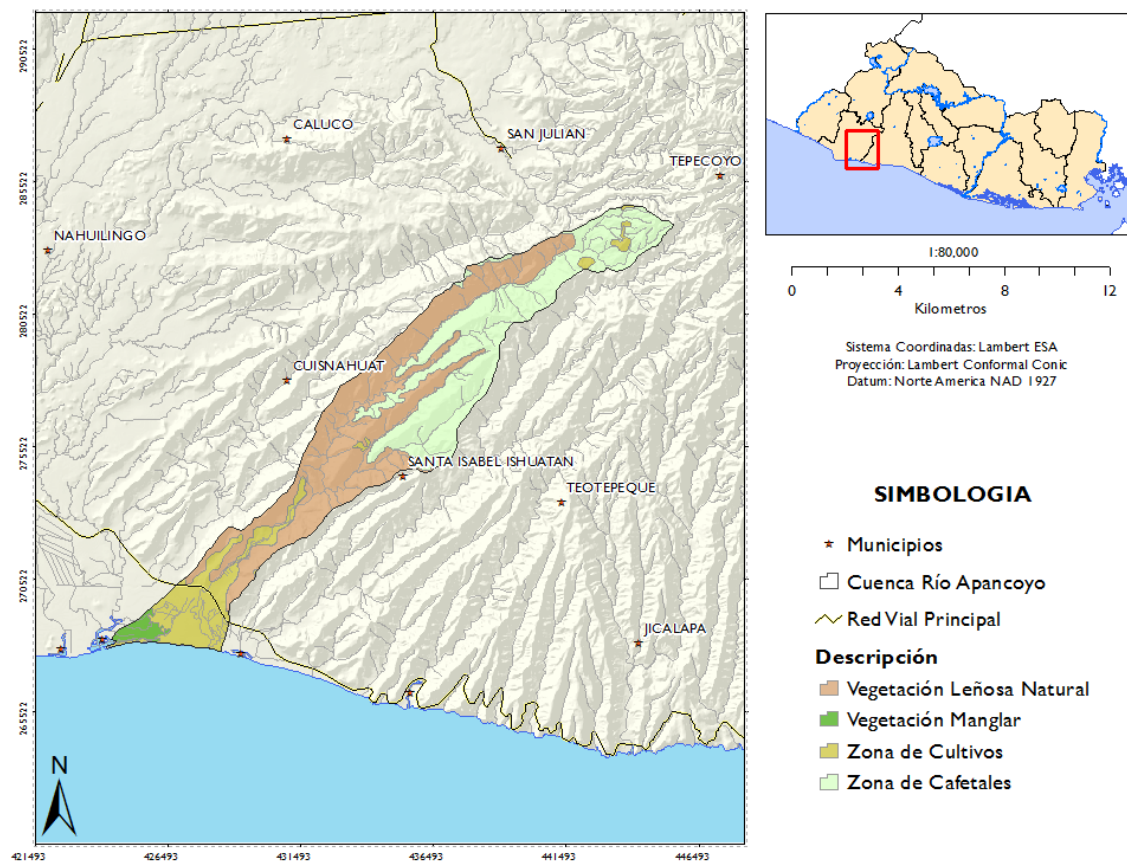


Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca Río Apancoyo

## h. Características Geomorfológicas

Las características geomorfológicas de las cuencas afectan en la relación precipitación-escurrimiento. Estas características, controlan el volumen de escurrimiento (área de la cuenca y tipo de suelo) y las que condicionan la velocidad de respuesta (orden de corriente, pendiente de la cuenca, de los cauces, etcétera)

## i. Área de la Cuenca

El área de la cuenca tiene gran influencia en la magnitud del caudal que de ella misma va a drenarse, pues dependiendo del tamaño, serán mayores o menores los caudales resultantes. El área de la cuenca del Río Apancoyo es de 65.98 km<sup>2</sup> y con un perímetro de 78.90 km.

## j. Tipo de Suelos

En la cuenca del Río Apacoyo se encuentran cuatro asociaciones de grandes grupos de suelos, los cuales se detallan a continuación.

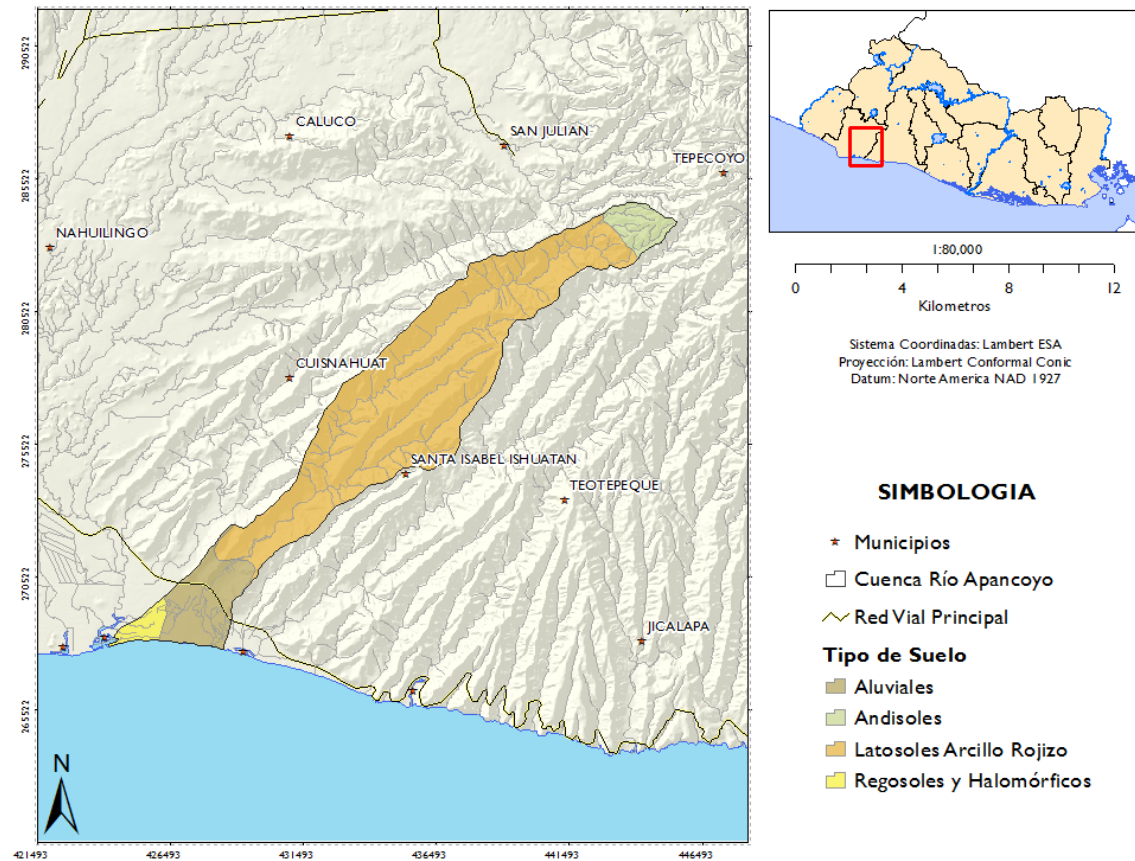


Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca Río Apacoyo

- Aluviales

Este tipo de suelo ha sido formado por el transporte y la deposición de materiales (arena, limo, arcilla y materia orgánica) por parte de la red fluvial. Este tipo de suelo posee buenas características de infiltración.

- Andisoles

Este tipo de suelo se presenta en las cimas y laderas de cerros y montañas, los cuales son originados por ceniza volcánica cuya textura y otras propiedades físicas les confieren buena características de drenaje interna.



- Latosoles Arcillo Rojizo

Son suelos con un horizonte arcilloso en la sección media de su perfil y aunque son arcillosos tienen un aceptable drenaje debido a una fuerte estructuración de la arcilla. Cabe mencionar que el drenaje de este tipo de suelo mejora con la cobertura forestal o con cultivo de café.

- Regosoles y Halomórficos

Estos tipos de suelos aunque se han colocado asociados en el mapa pedológico, pertenecen a diferentes órdenes (Regosoles al orden Inceptisoles y Halomórficos al orden Entisoles); ambos son producto de materiales transportados y depositados en la llanura aluvial costera, su diferencia estriba en que los Halomórficos son salinos (manglares) y los Regosoles no. Ambos tipos de suelo tienen problemas de anegamiento.

k. Uso de Suelos

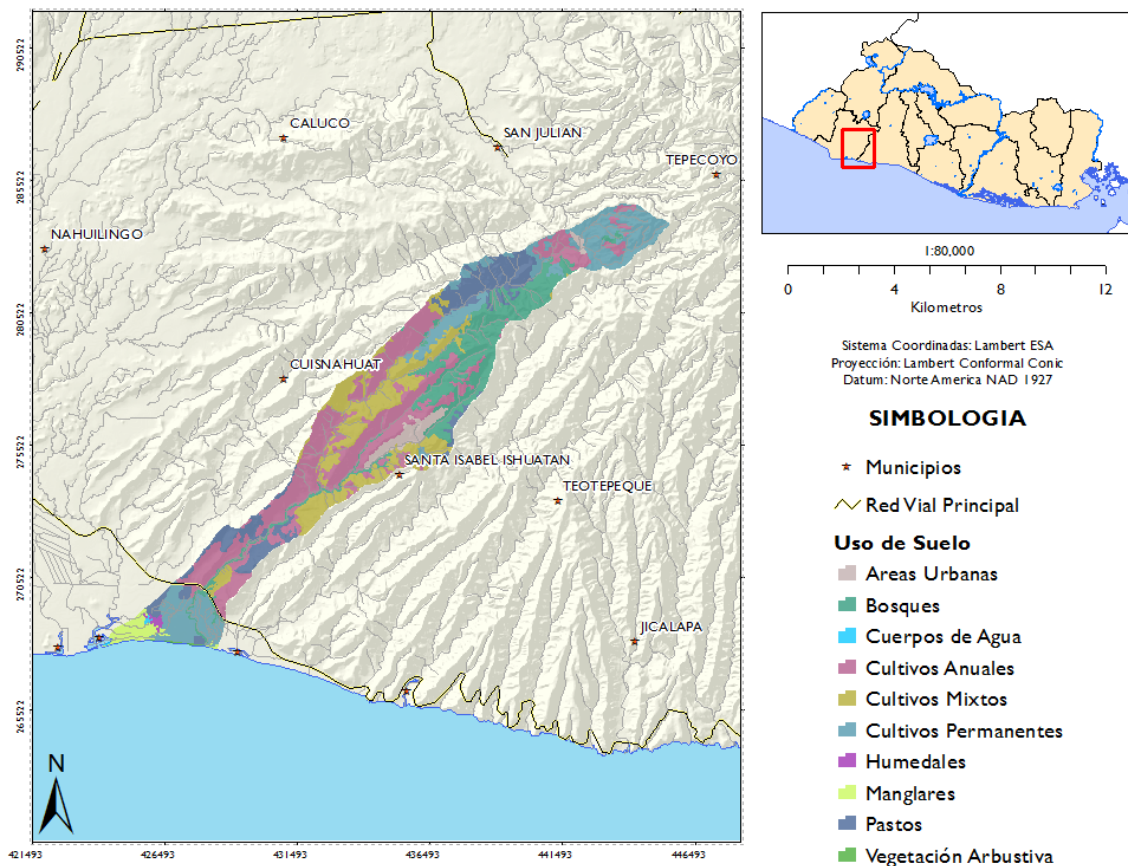


Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003

El mapa de uso de suelo está basado en la clasificación Corine Land Cover del año 2003, dicha capa fue elaborada a escala nacional por lo que el análisis en zonas pequeñas no genera mucha confiabilidad. Sin embargo, la clasificación Corine Land Cover muestra para nuestra área de estudio, un gran porcentaje de área de Bosques, los cuales en su mayoría son ocupados para cultivos de cafetales, bosques de galería, Caducifolios y semi-caducifolios.

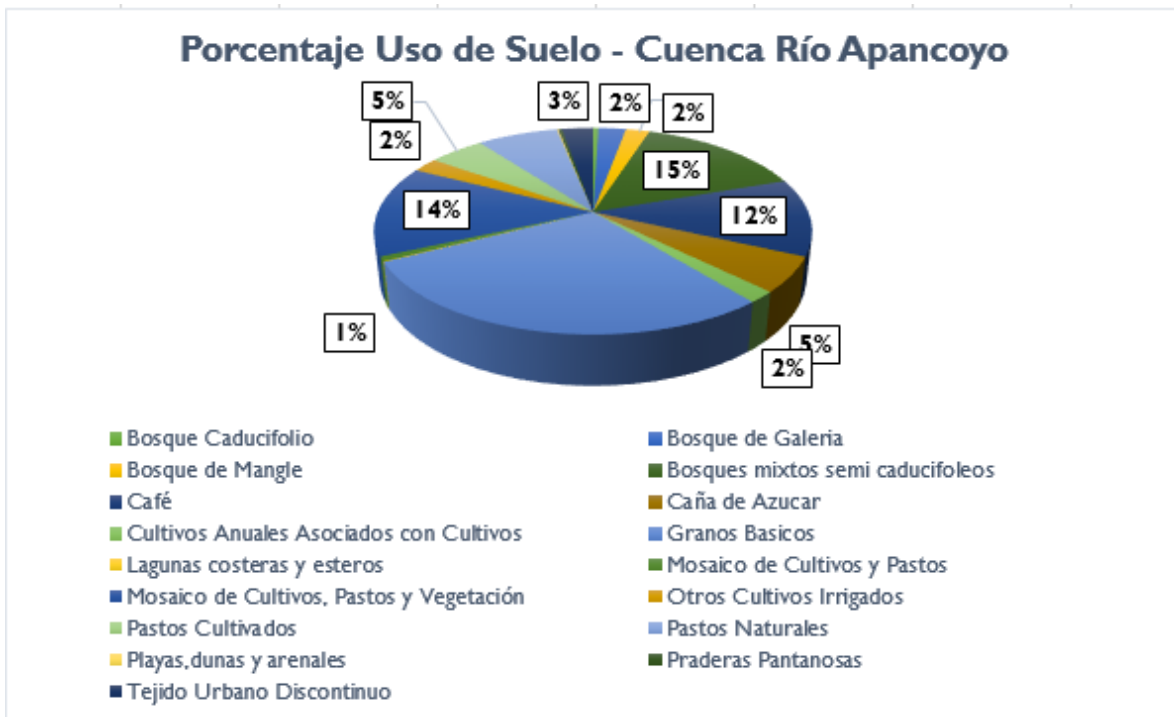


Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca del Río Apacoyo

## I. Conflicto de Uso de Suelo

El termino conflicto de suelo denota el grado cualitativo de afinidad entre la vocación de la tierra y sus usos. En la Figura 12, se observa en la parte alta de la cuenca, una afinidad no conflictiva entre la producción de escorrentía superficial y los sedimentos productos de la erosión de los suelos. Sin embargo, en la parte media de la cuenca se observa un uso muy conflictivo de usos de suelos.

**No conflictivo:** baja producción de sedimento y escorrentía, como por ejemplo el cultivo de café, ya que produce menos escorrentía y sedimento.

**Conflictivo:** producción media de sedimento y escorrentía.

**Muy conflictivo:** alta producción de sedimento y escorrentía.

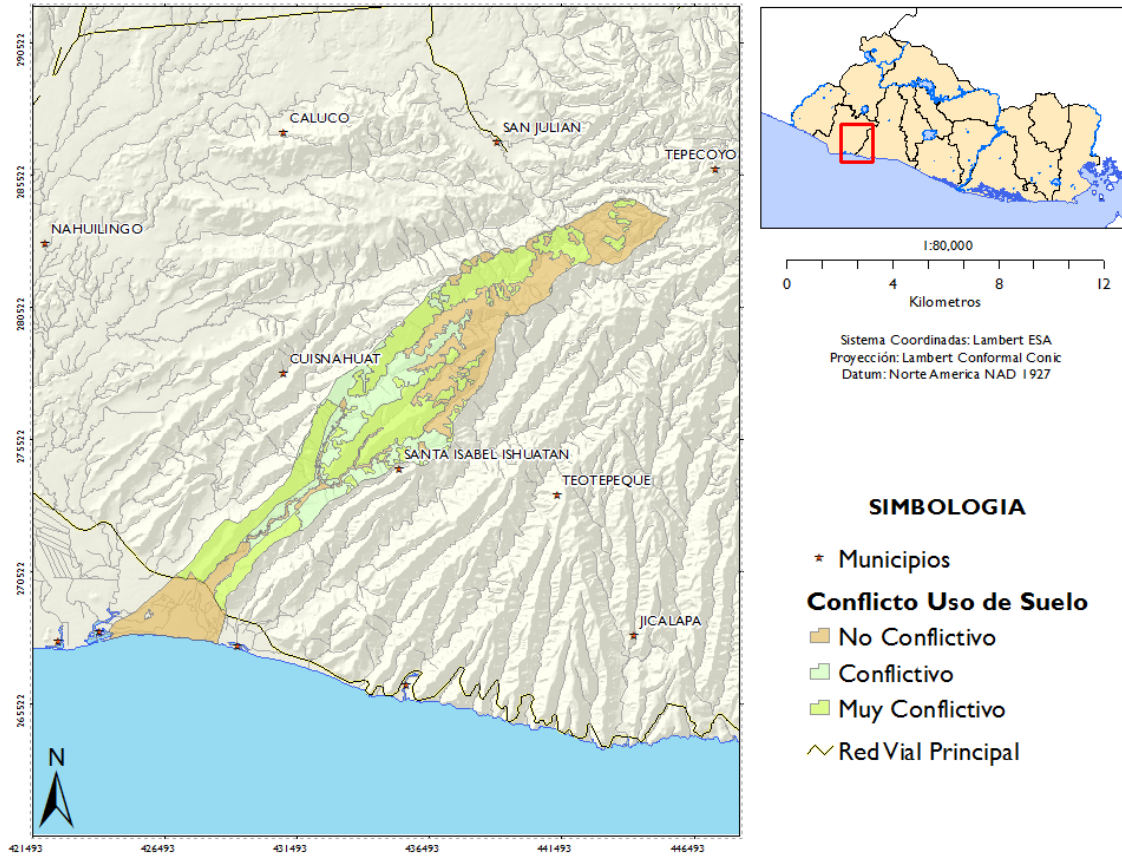


Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río Apancoyo

### m. Orden de corriente

El orden de corriente es una clasificación que se brinda a los diferentes cauces y que toman un determinado valor, de acuerdo al grado de bifurcación. Adicionalmente, el orden de corriente se relaciona con el caudal relativo del segmento del canal. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida. Por ejemplo: en la Figura 13 se muestra el orden de corriente encontrado para la cuenca del Río Apancoyo usando el método de Strahler (1952), el cual es de 4

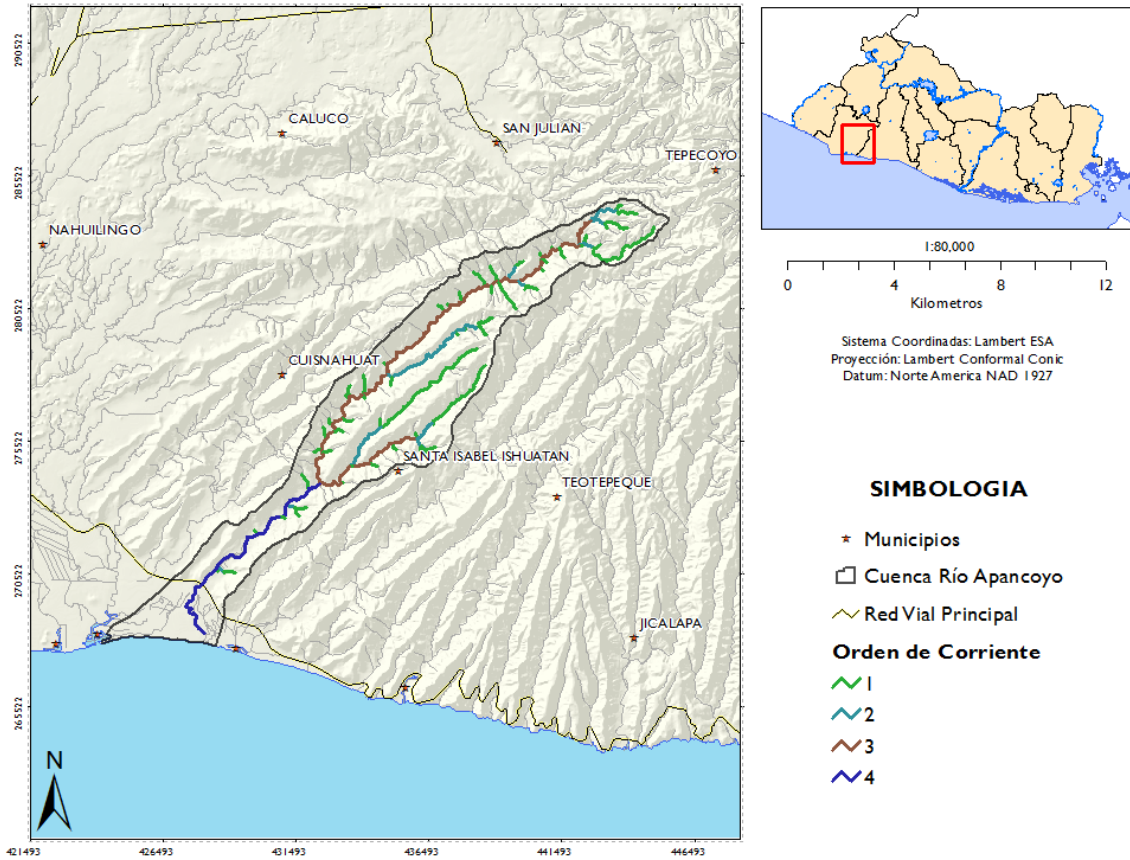


Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca del Río Apacoyco

#### n. Densidad de drenaje

Este índice permite tener un conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca.

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde “A” es el área de la cuenca en km<sup>2</sup>, “L” es la longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km. La interpretación de este valor indica una alta densidad de drenaje que correspondería a grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades, lo cual produciría rápidos ascensos de las crecientes.

Se puede considerar que los valores de  $D_d$  próximos a 0.5 km/km<sup>2</sup> corresponde a una cuenca pobremente drenada mientras que los valores de 3.5 km/km<sup>2</sup> o mayores, indican la eficiencia de la red de drenaje. El valor calculado para la cuenca del río Huiza se muestra en la Tabla

I, en donde se puede observar que el valor de drenaje se determina como regular ya que oscila entre 0.5 y 3.5.

Cuenca	Area (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Densidad Drenaje (km/km <sup>2</sup> )
Apancoyo	65.98	103.45	1.57

Tabla 1: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río Apancoyo

#### o. Forma de las cuencas

La evaluación de la forma de la cuenca considera el grado de similitud de su contorno o parteaguas al de la figura geométrica regular conocida. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximo.

- Factor de Forma “K<sub>f</sub>”

Propuesto por Gravelius y relaciona el área de la cuenca “A” y la longitud del cauce principal medido desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida “L”.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Este factor relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado (K<sub>f</sub> = 1). Un valor superior a la unidad, dará el grado de achatamiento y con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente crecidas.

Para la cuenca en estudio nos indica que la forma de la cuenca no se acerca a un cuadrado por lo que tiene cierta tendencia a no concentrar el escurrimiento en una lluvia intensa.

Cuenca	Area (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Factor de Forma “K <sub>f</sub> ”
Apancoyo	65.98	20.34	0.16

Tabla 2: Valor del factor de forma “K<sub>f</sub>” en la cuenca Río Apancoyo

- Índice de Gravelius

Coficiente propuesto por Gravelius y que compara la forma de una cuenca a la de una circunferencia, cuyo círculo tiene la misma superficie de la cuenca en estudio.

$$K_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$



Donde “P” es el perímetro de la cuenca en km y “A” es el área de la cuenca en estudio. Este coeficiente tiene por definición un valor de 1 para cuenca imaginarias de forma exactamente circular y nunca dará un valor inferior a la unidad. El grado de aproximación de este índice al valor de 1, indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a 1.

<b>Cuenca</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (km)</b>	<b>Índice de Gravelius “K<sub>c</sub>”</b>
Apacoyo	65.98	78.90	2.74

Tabla 3: Valores de Índice de Gravelius en la Cuenca del Río Apacoyo

#### p. Pendiente media de la cuenca

Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas, ya que condiciona la velocidad del escurrimiento superficial y mantiene una influencia directa sobre el proceso erosivo del suelo. En la cuenca en estudio, las zonas de fuerte pendientes se presentan con mayor frecuencia problemas de erosión mientras en zonas llanas aparecen problemas de drenaje y sedimentación.

La pendiente promedio en la cuenca del Río Apacoyo es de 21.65% en donde se puede observar zonas de pendiente mayores a 30% en las zonas altas y medias de la cuenca. Asimismo, se observa pendientes menores a 10% en la zona de las planicies costeras y desembocadura.



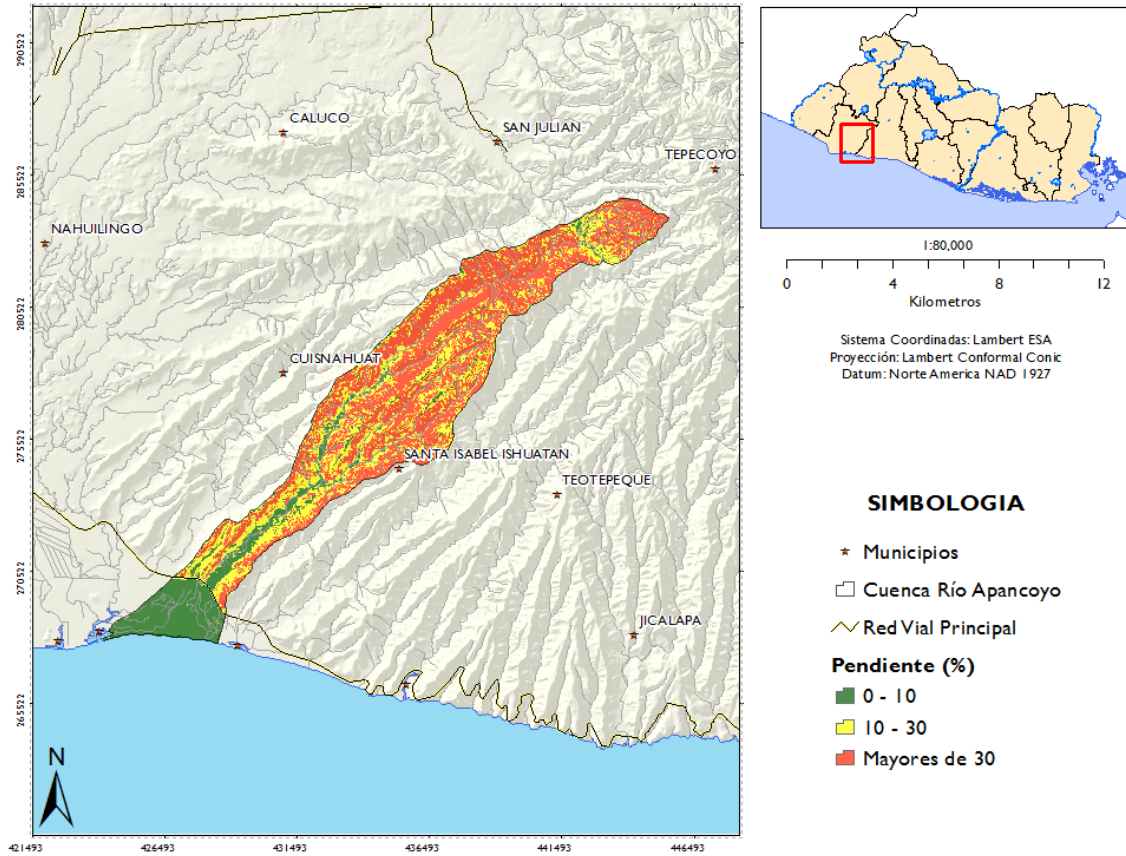


Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río Apancoyo

#### q. Pendiente media del cauce principal

La pendiente media del cauce principal es uno de los parámetros más importantes ya que indica el grado de respuesta de una cuenca a una tormenta. La pendiente media del cauce en el Río Apancoyo es de 2.58% dicho valor se ve disminuido en la zona baja ya que es una zona de planicie costera y sus pendientes son muy bajas. Esta zona de pendiente baja es un área de recepción de material sedimentario que arrastre el río desde la parte alta (pendiente altas entre 8%-12%)

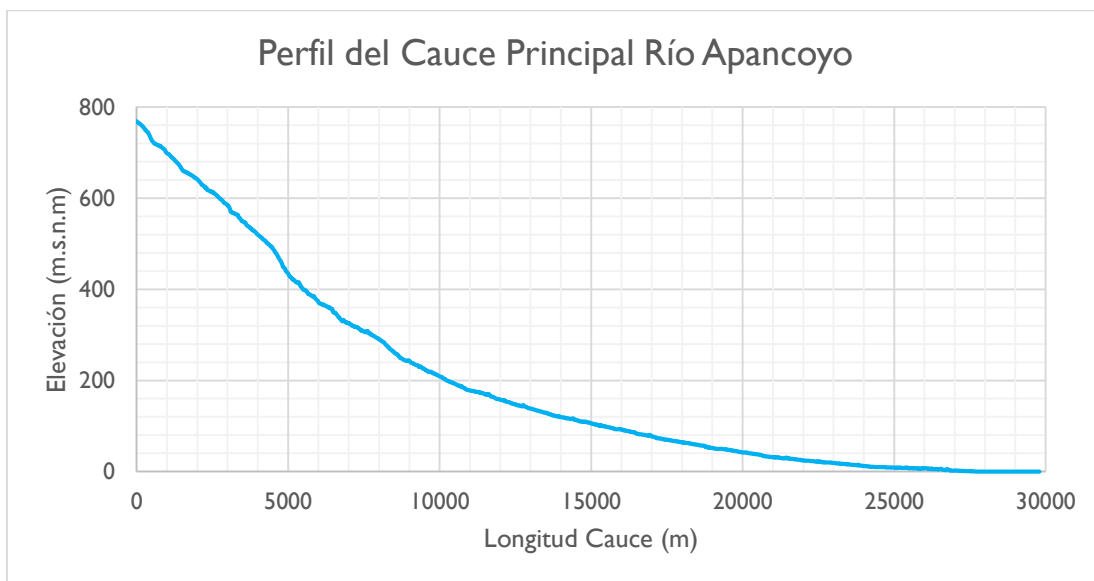


Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauze Principal Río Apancoyo

r. Curva Hipsométrica.

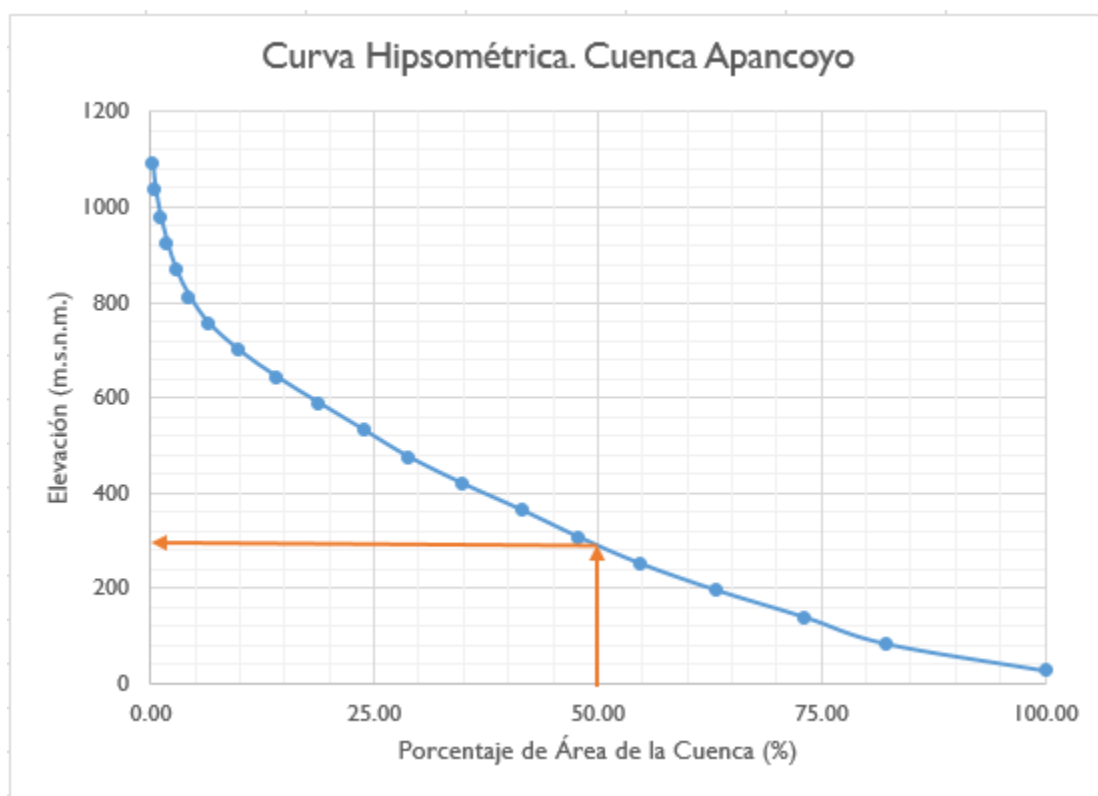


Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Apancoyo

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Estas curvas también están asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.

En la cuenca del río Apancoyo la curva hipsométrica refleja una edad del río sedimentaria y una altura mediana de la cuenca de 300 m.s.n.m.

### s. Histograma de Frecuencias Altimétricas

Es la representación de la superficie, en porcentaje, comprendida entre dos niveles; siendo la marca de clase el promedio de las alturas.

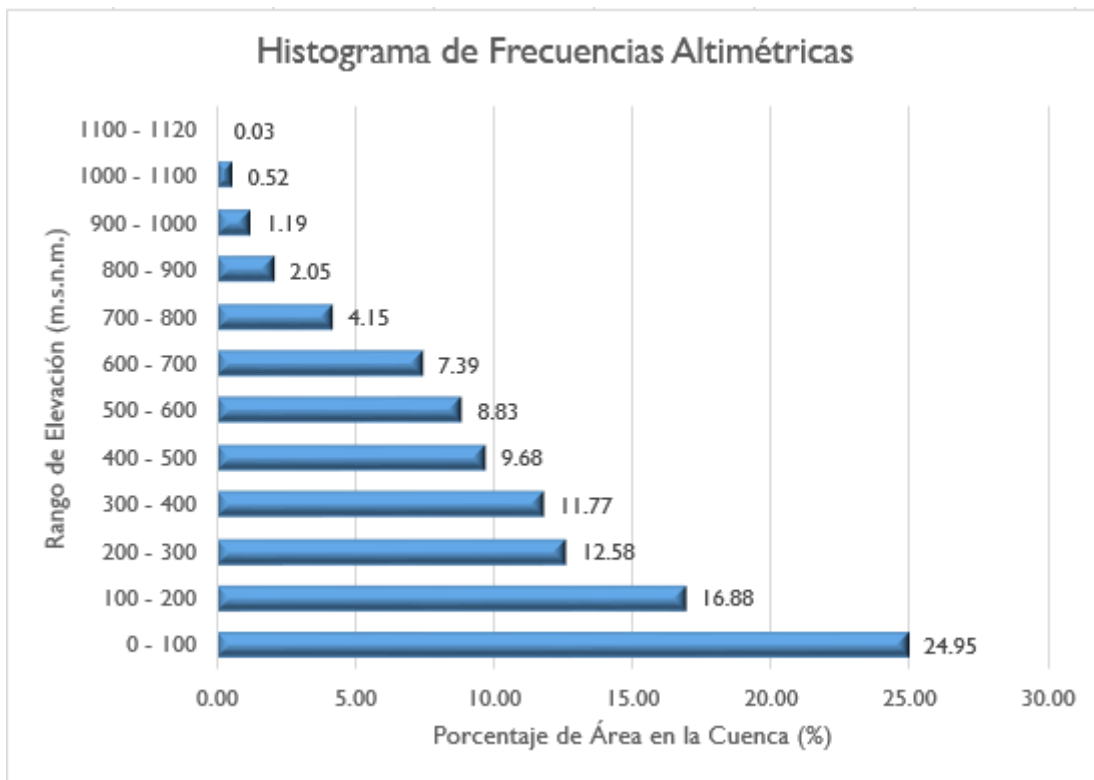


Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río Apancoyo

VARIABLE	PARAMETRO	VALOR
Parámetros de Forma	Area (km <sup>2</sup> )	65.98
	Perímetro (km)	78.90
	Índice de Gravelius (K <sub>c</sub> )	2.74
	Factor de Forma (K <sub>f</sub> )	0.16
Parámetros de Relieve	Cota máxima (msnm)	1120
	Cota mínima (msnm)	0
	Desnivel altitudinal (msnm)	1120
	Pendiente Media (%)	21.65
	Altura más frecuente (msnm)	0 – 100
	Altura Mediana	300
	Longitud de cauce principal (km)	20.34
	Longitud de cauce en la cuenca (km)	103.45
Parámetros de cauce principal	Densidad de drenaje	1.57
	Elevación máxima del cauce (msnm)	769.38
	Elevación mínima del cauce (msnm)	0
	Pendiente media del cauce (%)	2.58
	Orden de cuenca	4

Tabla 4: Parámetros calculados en la Cuenca del Río Apancoyo

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA

La modelación hidrológica permite determinar el hidrograma o caudal en un punto de interés de la cuenca, por medio de una transformación de lluvia-escorrentía. Este hidrograma generado en el modelo hidrológico, se ingresará en el modelo hidráulico para determinar los tirantes máximos para diferentes periodos de retorno, los cuales se usaran como umbrales de niveles de río como parte del Sistema de Alerta Temprana en la cuenca del Río Huiza

El modelo HEC-HMS es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, en cual permite simular la respuesta de una cuenca ante una precipitación y brinda un hidrograma en un punto de interés del usuario. El software trabaja bajo cuatro métodos: el método de pérdidas, el método de transformación de lluvia-escorrentía, la adición del flujo base y el tránsito de hidrograma.

Los parámetros hidrológicos son datos necesarios para analizar el comportamiento de una cuenca. Estos parámetros permiten estimar el tiempo y el caudal pico en un hidrograma unitario y pérdidas (infiltración) por medio del Número de Curva (CN).

### a. Modelo de Cuenca

En esta parte de la modelación hidrológica, el usuario elabora un esquema de subdivisión de cuencas. Lo anterior para permitir simular de una forma correcta la respuesta de la cuenca ante tormentas de fuerte intensidad. Se realizó este corte de subcuencas por medio del programa HEC-GeoHMS, el cual permite calcular parámetros hidrológicos necesarios en el modelo HEC-HMS y diseñar un esquema de subcuencas en base a los criterios usados por parte del modelador.

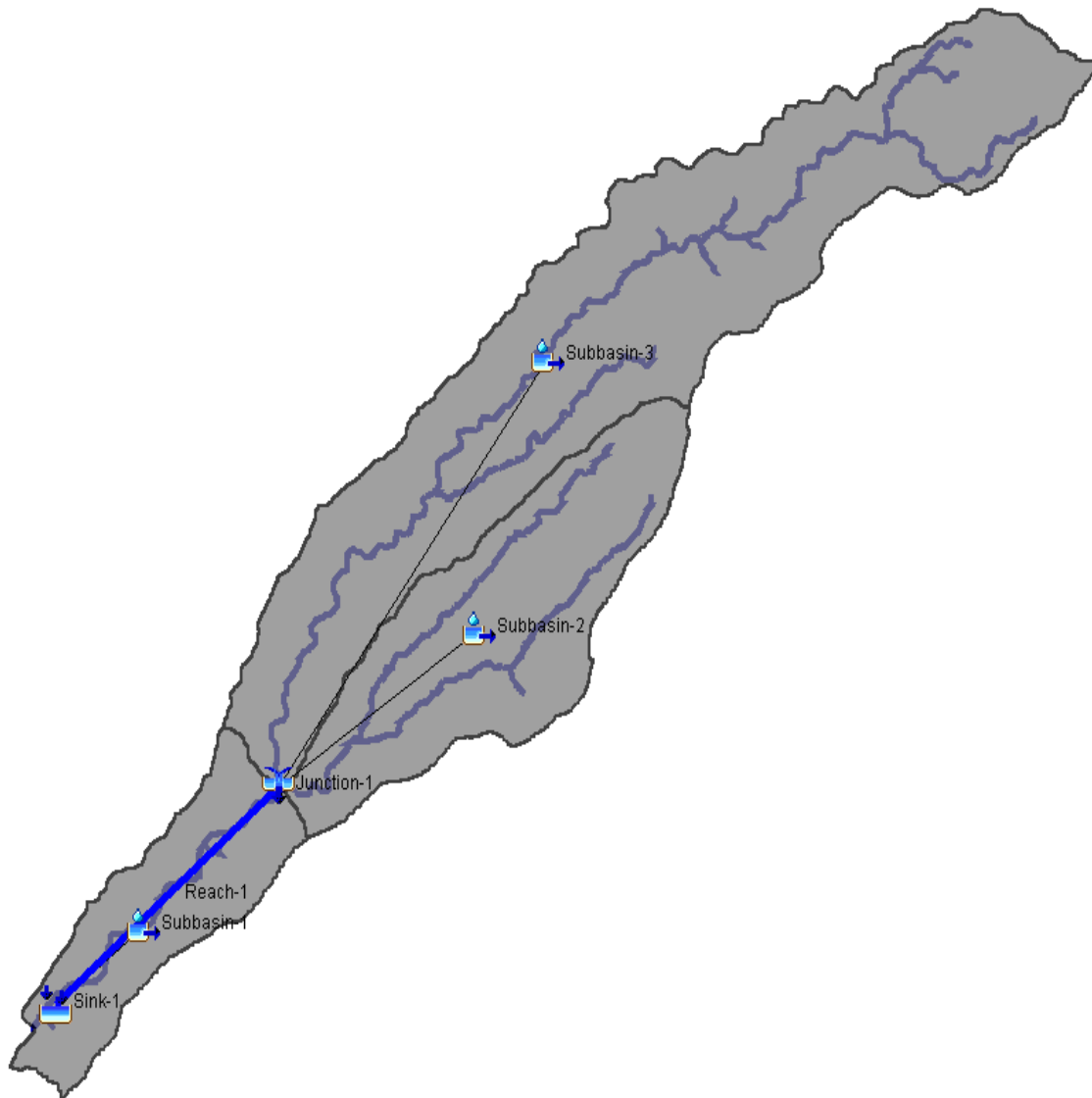


Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS

En cada subcuenca generada se calculó parámetros hidrológicos para simular el efecto de transformación de lluvia-escorrentía; tales parámetros son el tiempo de concentración, el número de curva (CN por sus siglas en inglés) y constante de recesión para el flujo base de la cuenca del Río Apacoyo.

<b>Subcuenca</b>	<b>Tiempo de Concentración (Min)</b>	<b>Número de Curva (condición antecedente húmedas)</b>
Subbasin-1	90.58	87.68
Subbasin-2	66.62	89.12
Subbasin-3	138.34	86.99

*Tabla 5: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca Río Apacoyo*

#### b. Determinación de hietogramas de diseño

La determinación de los hietogramas de diseño para diferentes periodos de retorno, consiste en el análisis de los datos de lluvia diaria. El procedimiento seguido para esta determinación se basa en el estudio de “Generación de Mapas de Inundación, para diferentes periodos de retorno, en la Región Hidrográfica Mandinga-Comalapa (León, 2012). En dicho trabajo se realizó la modelación hidrológica e hidráulica para algunos de los cauces de la región anteriormente mencionada. Asimismo se estableció una tormenta de diseño para diferentes periodos de retorno, tales como 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

<b>Periodo de Retorno</b>	<b>2años</b>	<b>5años</b>	<b>10años</b>	<b>25años</b>	<b>50años</b>	<b>100años</b>
<i>Precipitación Promedio (mm)</i>	<i>54.95</i>	<i>74.54</i>	<i>87.20</i>	<i>103.28</i>	<i>115.44</i>	<i>127.28</i>

*Tabla 6: Precipitación Promedio Para distintos Periodos de Retorno en la Cuenca del Río Apacoyo*

Una vez determinado las diferentes alturas de precipitación se desagregó la precipitación en una duración de 2 horas e intervalos de 15 minutos. Se obtuvo un Hietograma de diseño para cada periodo de retorno analizado y se ingresaron al programa HEC-HMS para posteriormente correrlos y generar un hidrograma de diseño en el sitio de interés, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años



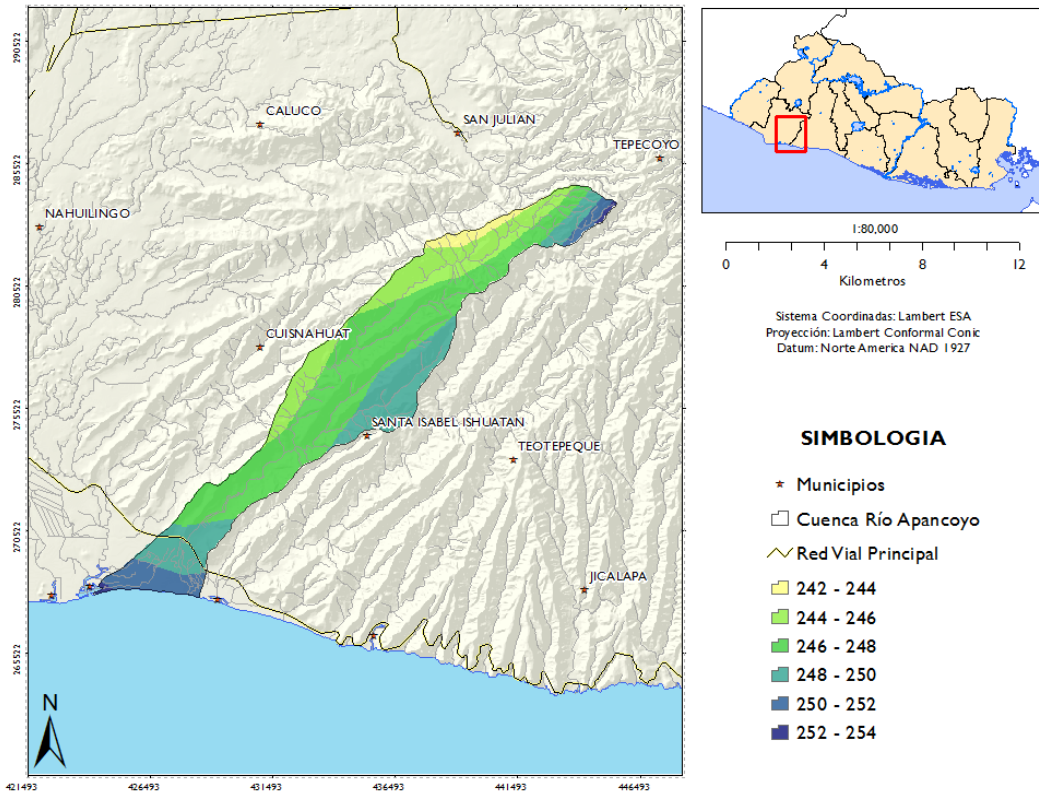


Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para 1 día y un Periodo de Retorno de 100 años

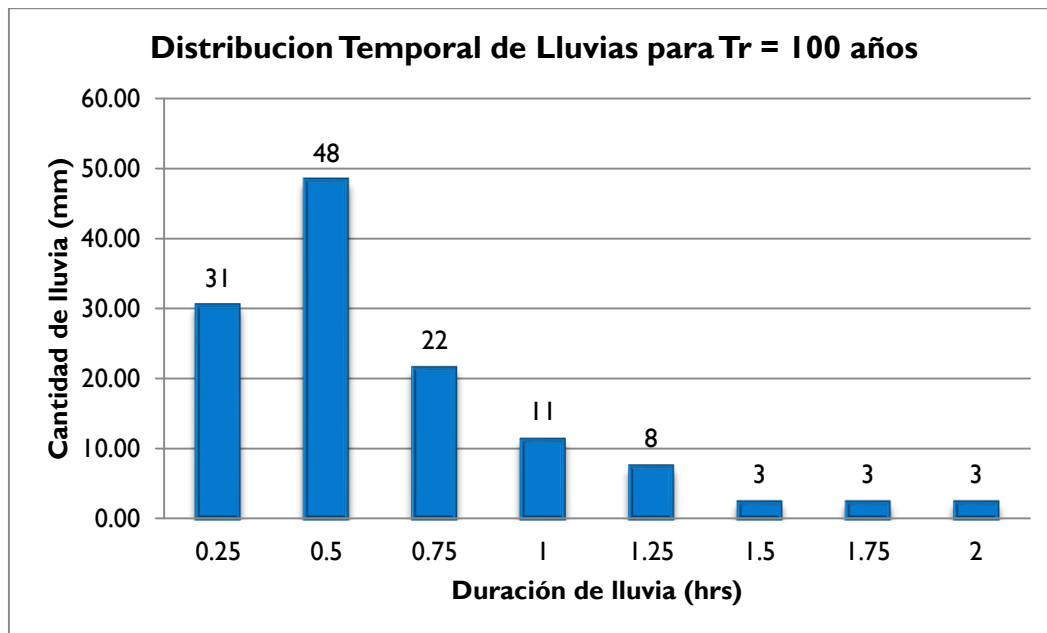


Figura 20: Hietograma de Diseño para un periodo de retorno de 100 años

### c. Resultados

Una vez ingresados los distintos hietogramas de diseño en el modelo HEC-HMS, se obtuvieron hidrograma de diseño en el Cantón Salinas de Ayacachapa (Punto de Interés). El valor máximo de caudal generado por el modelo hidrológico, se tomará para correrlo al modelo hidráulico HEC-RAS y posteriormente se evaluará cada tirante de periodo de retorno y se obtendrán los umbrales de nivel de río y de precipitación.

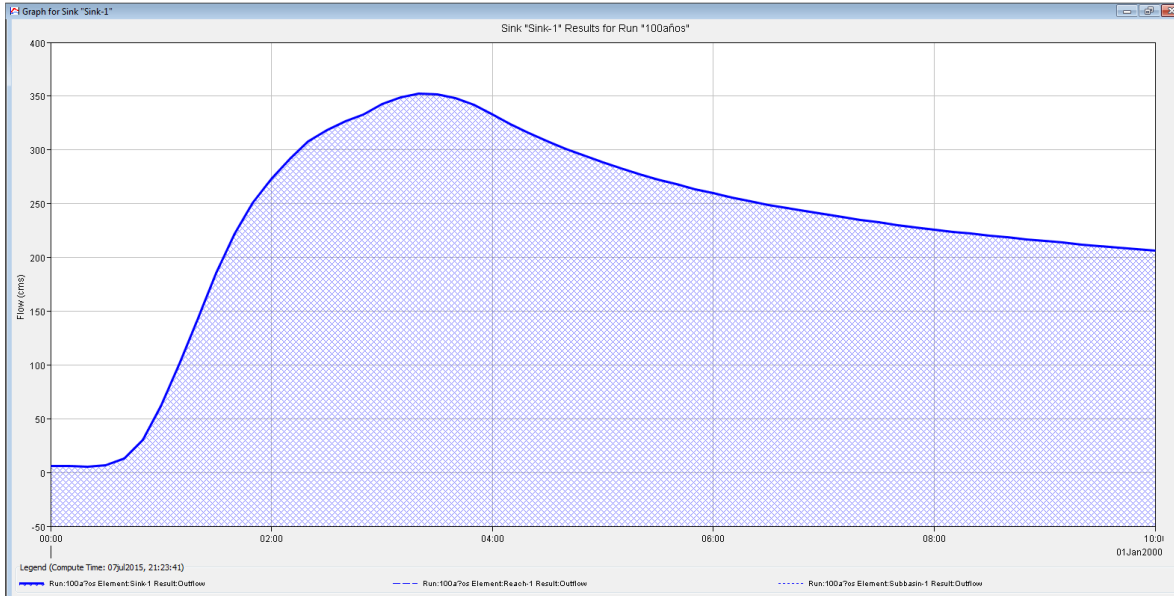


Figura 21: Hidrograma de diseño para Cantón Salinas de Ayacachapa y un Periodo de Retorno de 100 años

## MODELACIÓN HIDRÁULICA

Los modelos hidráulicos requieren, como principal variable de entrada, el caudal de diseño para diferentes periodos de retorno, con el fin de evaluar los valores de umbral del nivel de río para los protocolos de activación del Sistema de Alerta Temprana. Para la cuenca en estudio, se hizo un levantamiento topográfico de secciones transversales en todo el cauce del río hasta llegar a la desembocadura del río (León, 2012). Adicionalmente se ha propuesto un sitio como zona en donde se podría instalar una mira de colores, la cual, serviría de guía para las comunidades aledañas al cauce del río, en el seguimiento del protocolo de acción del Sistema de Alerta Temprana.

Para la modelación hidráulica se ocupó el Software MIKE-11, el cual es desarrollado por el Instituto Hidráulico Danés (DHI por sus siglas en ingles) y estima, bajo diferentes tipos de flujo, el tirante generado por un hidrograma o caudal de entrada.

Se determinó en el apartado anterior, el caudal pico de diseño para diversos periodos de retornos. Dicho caudal pico se corrió en un modelo de superficie, bajo las condiciones

propias de la zona, tales como coeficiente de rugosidad, pendiente del cauce, entre otras variables hidráulicas.

### a. Resultados

Una vez ingresados los parámetros hidráulicos y el caudal del diseño, se obtienen los tirantes máximos para diferentes periodos de retorno. En la Figura 22 se puede observar la sección transversal en el sitio de Interés (Cantón Salinas de Ayacachapa) y en el mapa de inundación obtenido del estudio de generación de mapas de inundación para la región hidrográfica Mandinga-Comalapa (León, 2012), se observa que para periodos mayores de 25 años, el cauce del río se desborda en algunos puntos de su recorrido. Por lo tanto, se tomará el periodo de retorno de 25 años como crítico para nuestro análisis de umbrales de nivel del río.

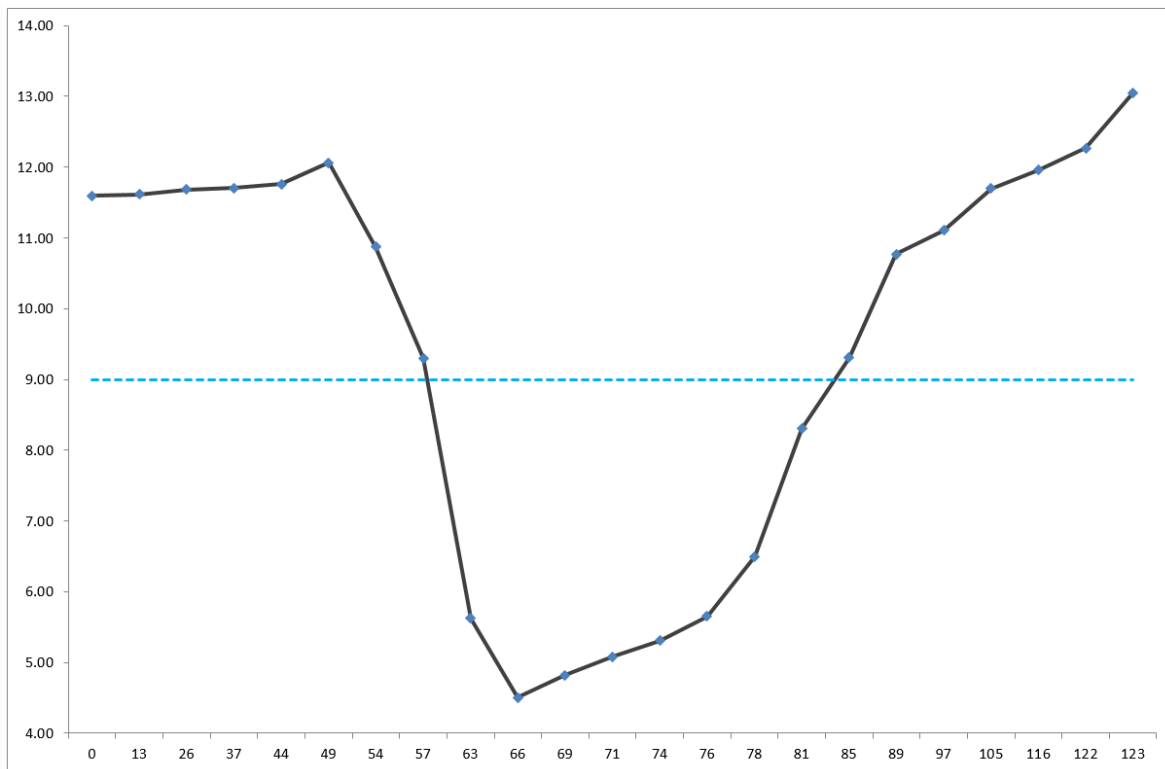


Figura 22: Sección Transversal en Río Apancoyo en el cantón Salinas de Ayacachapa con un Periodo Retorno de 10 años

## GENERACIÓN DE UMBRALES DE RÍO

Para la determinación del umbral del nivel de río en Cantón Salinas de Ayacachapa, se ocuparon los diferentes tirantes obtenidos en el estudio de Generación de Mapas de Inundación para la Región Hidrográfica Mandinga-Comalapa (León, 2012) para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100) y se extrajo el periodo de retorno que produciría

un desbordamiento local y aguas abajo del cauce, específicamente en Barra Salada. El lugar seleccionado para instalar la mira, se encuentra aproximadamente a 150 metros aguas abajo del puente Apancoyo, ubicado en la carretera litoral. Este sitio serviría a la comunidad para monitorear el nivel del río cuando se tienen crecidas considerables.

Para el caso del Río Apancoyo, el periodo de retorno que produciría problemas de desbordamiento sería de 25 años, por lo que se trabajará con los umbrales de 25, 10 y 5 años para delimitar los umbrales del río en base a las etapas de monitoreo, aviso y emergencia.

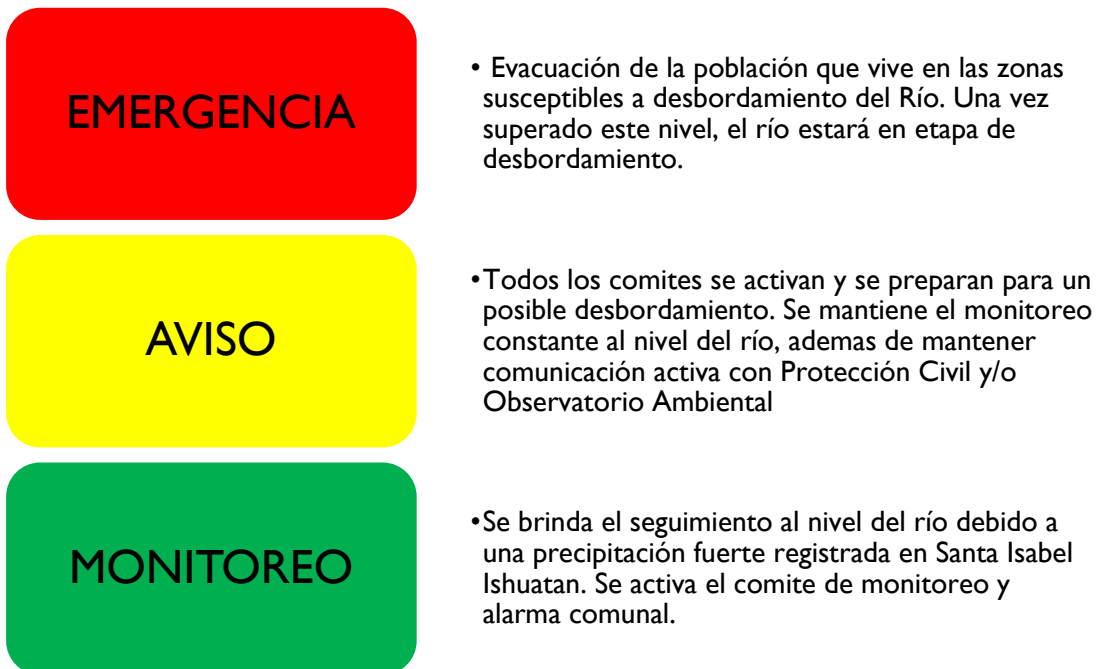


Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río Apancoyo

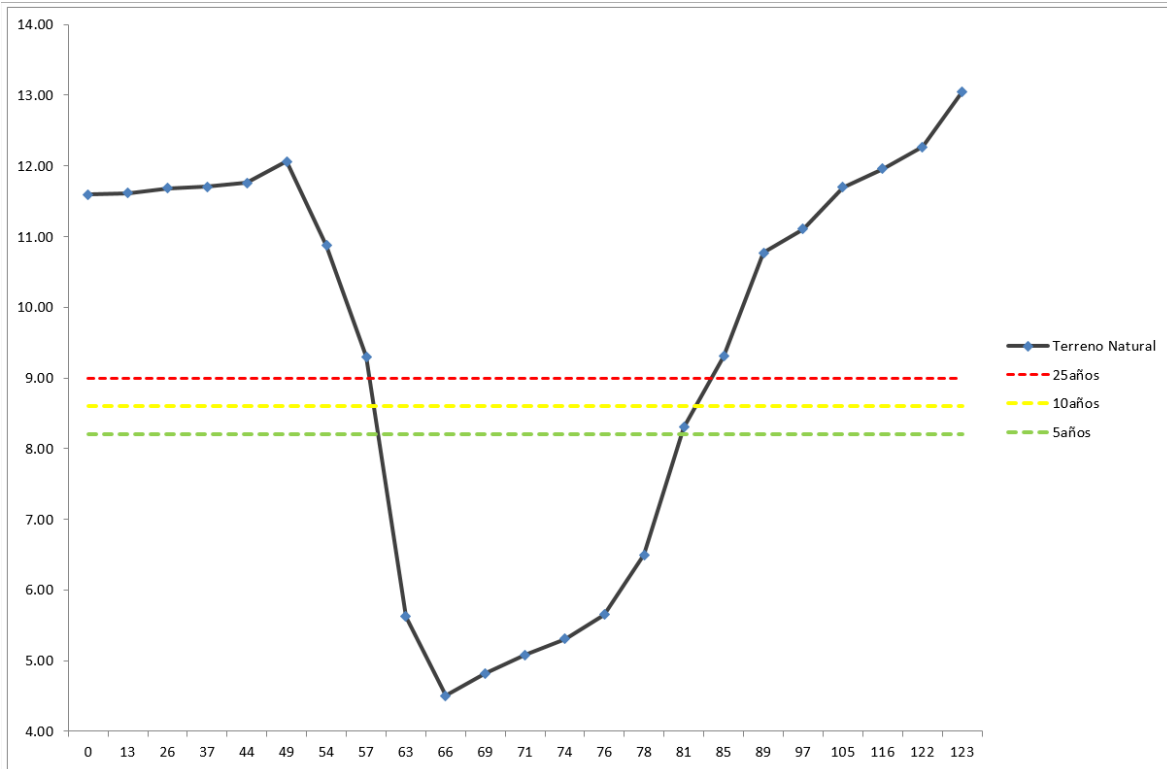


Figura 24: Umbral de Nivel de Río en Cantón Melara

Lugar Propuesto	Monitoreo	Aviso	Emergencia
Salinas de Ayacachapa	3.70 metros	4.10 metros	4.50 metros

Tabla 7: Umbral de Nivel de Río Apancoyo en Cantón Salinas de Ayacachapa.

## GENERACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIÓN

El objetivo de los umbrales de precipitación es obtener una respuesta anticipada por medio de un valor de precipitación registrado dentro de la cuenca o en sus alrededores. Este análisis se hizo en base a los periodos de retorno obtenidos en el apartado de Generación de Umbrales de Río. De acuerdo a lo analizado anteriormente, se determinó periodos de retorno de 5, 10, 25 años para generar las etapas de monitoreo, aviso y emergencia, respectivamente. Posteriormente, se extrajo las precipitaciones para los periodos de retorno analizados con una duración de 24 horas (ver

Periodo de Retorno	2años	5años	10años	25años	50años	100años
--------------------	-------	-------	--------	--------	--------	---------



Precipitación Promedio (mm)	54.95	74.54	87.20	103.28	115.44	127.28
-----------------------------	-------	-------	-------	--------	--------	--------

Tabla 6) y se desagregó la precipitación en intervalos horarios en base al análisis de la Distribución Temporal de Lluvias En El Salvador (Erazo, 2011). Finalmente, se ordenó la precipitación horaria de menor a mayor, con lo cual se generó una curva acumulada de precipitación, tal como lo muestra la Figura 25

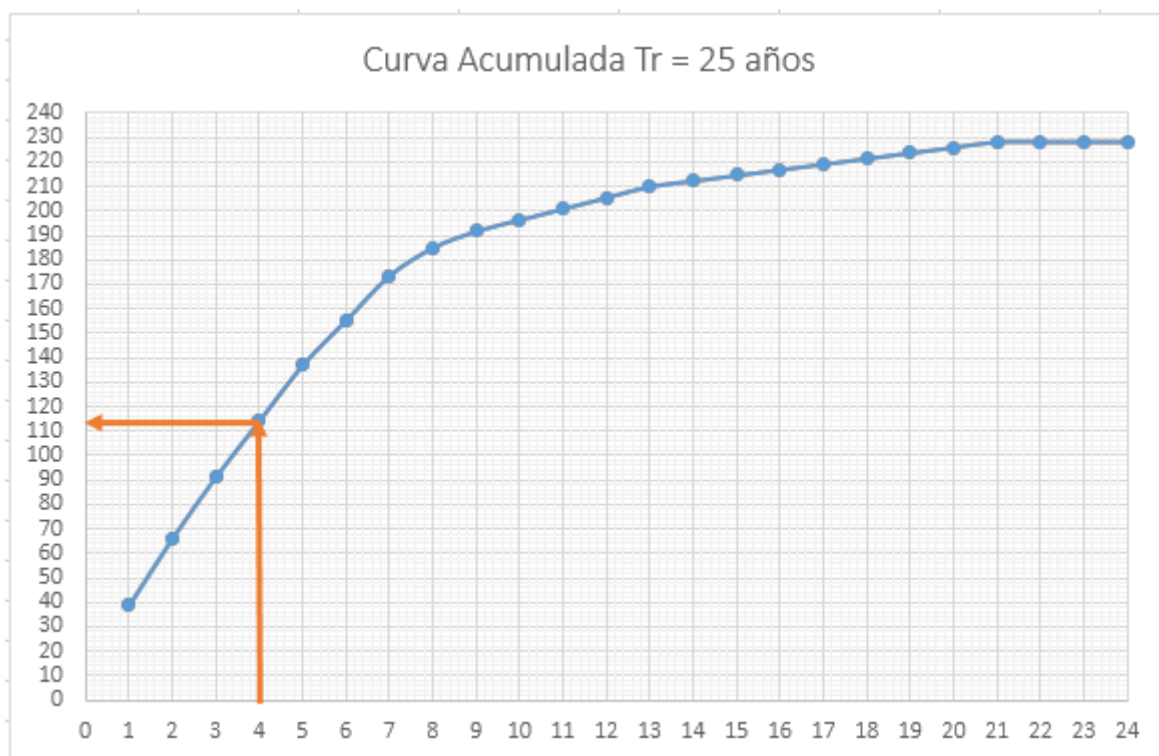


Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con  $T_r = 25$  años

Una vez generada la curva de precipitación acumulada, se calculó el tiempo de concentración del río Apacoyo hasta el cantón Salinas de Ayacachapa (3.97 horas) y se interceptó con la curva de precipitación acumulada, con el fin de obtener un valor de precipitación. El resultado nos brinda el umbral de precipitación para el periodo de retorno analizado.

En la Tabla 8, se muestra los umbrales de precipitación calculados para el Sistema de Alerta Temprana del Río Apacoyo

Duración	Monitoreo	Aviso	Emergencia
24 horas	80 mm	95 mm	110 mm

Tabla 8: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río Apacoyo



## RED DE OBSERVADORES LOCALES

La Red de Observadores Locales (ROL) lo conforman todas las personas que viven en zonas susceptibles a inundación e inclusive, personas que viven en zonas altas que brinden información de las condiciones meteorológicas en su zona.

Entre las funciones principales de un Observador local es ser receptor de la información que emite el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, además de ser emisores de información de interés para el Ministerio.

Entre las visitas de campo realizadas a la cuenca, se identificaron a personas que funcionarían como Observadores Locales. Dichas personas, están ubicados en los cantones Salinas de Ayacachapa y Barra Salada.

<b>NOMBRE</b>	<b>TELEFONO</b>	<b>COMUNIDAD</b>

Tabla 9: Red de Observadores Locales en Río Apancoyo

## PROPUESTA DE SITIOS PARA INSTALACIÓN DE PLUVIÓMETROS

Para la correcta ejecución de los umbrales de precipitación, se requiere instalar pluviómetros convencionales en sitios o cantones estratégicos. En donde las personas puedan dar la cantidad de lluvia que se está registrando a las personas restantes aguas abajo

que forman la red de observadores. Estos sitios recomendados complementarían la red pluviométrica telemétrica del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Actualmente el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales cuenta con 1 estación telemétrica en la cuenca del Río Apancoyo, la cual es la estación Santa Isabel Ishuatán. Dicha estación realizan la transmisión de datos cada 10 minutos. Sin embargo, no se tiene la cobertura en la parte media y baja de la cuenca.

En la Figura 26, se observa los puntos donde se propone la instalación de pluviómetros, entre los que destacan en los cantones Salinas de Ayacachapa, Paso de Canoas y Tierra Colorada.

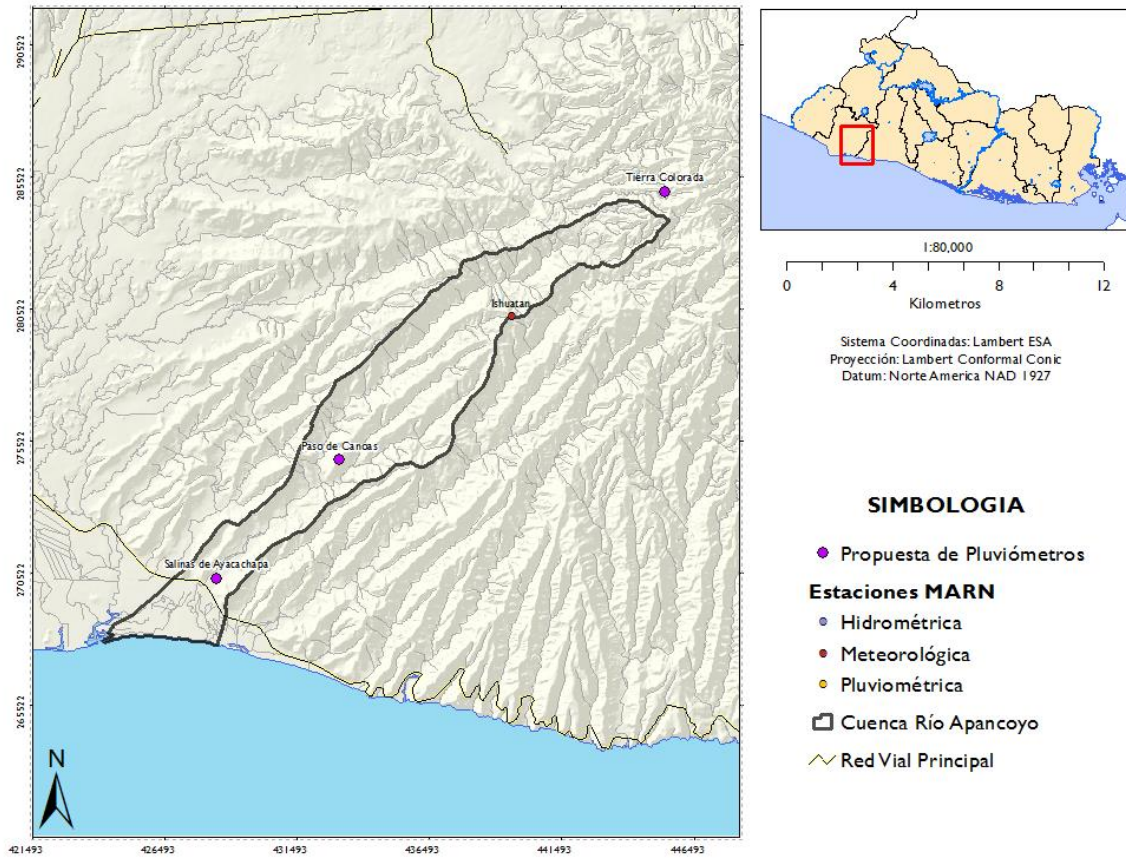


Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros



## TRABAJOS CITADOS

Erazo, A., 2011. *Distribución Temporal de Lluvias en El Salvador*, s.l.: s.n.

Erazo, A., 2011. *Relaciones de Láminas de Lluvia en El Salvador*, s.l.: s.n.

Gobierno de la Republica de El Salvador - Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo, 1981. *Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hidricos*. San Salvador: s.n.

León, J. R. V., 2012. *Generación de Mapas de Inundación, para diferentes Periodos de Retorno, en la Región Hidrográfica Mandinga-Comalapa*. San Salvador: s.n.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012/2013. *Escenarios de Riesgos: Amenaza por Inundación*. San Salvador: s.n.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2005. *Balance Hidrico Integrado y Dinámico*. San Salvador: s.n.

Thornthwaite, C. W., 1948. *An Approach Toward a Rational Classification of Climate*. s.l.:s.n.