

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES

Cuenca Río El Jute



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	6
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.....	28
Modelación Hidráulica	29
a. Resultados.....	29
Generación de Umbrales de Río.....	30
Generación de Umbrales de Precipitación	32
Red de Observadores Locales.....	33
Propuesta de Sitios Para Instalación de Pluviómetros.....	33
Trabajos citados.....	35

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 El Jute	6
Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río El Jute	7
Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río El Jute	8
Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río El Jute.....	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 El Jute	12
Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca El Jute	13
Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003..	14
Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca El Jute	15
Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río El Jute.....	16
Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca El Jute	17
Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río El Jute	20
Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río El Jute	21
Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río El Jute.....	21
Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río El Jute	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 la Cuenca del Río El Jute para un $Tr = 100$ años..	28
Figura 21: Hidrograma de diseño en Comunidad El Jute con un $Tr = 100$ años	29



Figura 22: Sección Transversal en Río El Jute en Comunidad El Jute con un Periodo Retorno de 10 años 30

Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río El Jute 31

Figura 24: Umbrales de Nivel de Río El Jute en Comunidad El Jute 31

Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con $Tr = 10$ años 32

Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros 34

Índice de Tablas

Tabla 1: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río El Jute 18

Tabla 2: Valor del factor de forma “Kf” en la cuenca Río El Jute 18

Tabla 3: Resumen de Parámetros Cuenca Río El Jute..... 23

Tabla 4: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca El Jute..... 25

Tabla 5: Precipitación Máxima para 1 día y diferentes Periodos de Retorno 25

Tabla 6: Precipitaciones Máximas por Intervalo Fijo de Observación..... 26

Tabla 7: Precipitación Máxima para una duración de 2 horas 27

Tabla 8: Precipitación Máxima por factor de Reducción de Área 27

Tabla 9: Distribución Temporal para la Subcuenca W220 y un $Tr = 100$ años 28

Tabla 10: Umbrales de Nivel de Río El Jute en Comunidad El Jute - Esperanza 31

Tabla 11: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río El Jute..... 33

Tabla 12: Red de Observadores Locales en Río El Jute..... 33

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 agregar a la cuenca del Río El Jute en la red de Sistemas de Alerta Temprana implementados en el país, con el fin de alerta de forma anticipada y proteger la vida y la propiedad ante las amenaza de eventos hidrometeorológico.

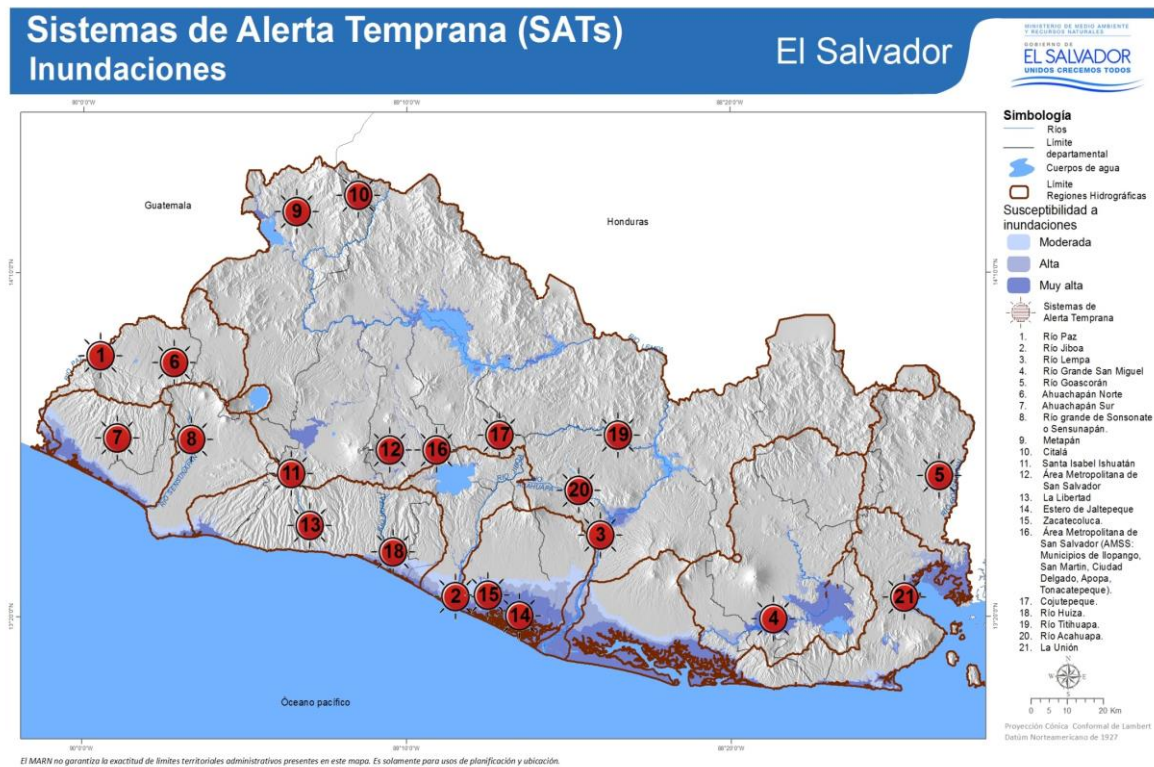


Figura 1: Mapa de Sistemas de Alerta Temprana por Inundación en El Salvador.

CARACTERIZACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

a. Ubicación

La cuenca del Río El Jute se encuentra ubicada dentro de la región hidrográfica “E” o región hidrográfica Mandinga Comalapa, la cual está comprendida por cuencas de respuesta rápida y que drenan desde la cordillera del Bálsamo hasta desembocar en el Océano Pacífico.

El Río El Jute nace en el municipio de Zaragoza y recorre alrededor de 15 kilómetros hasta desembocar en el Océano Pacífico, específicamente en el municipio de La Libertad.

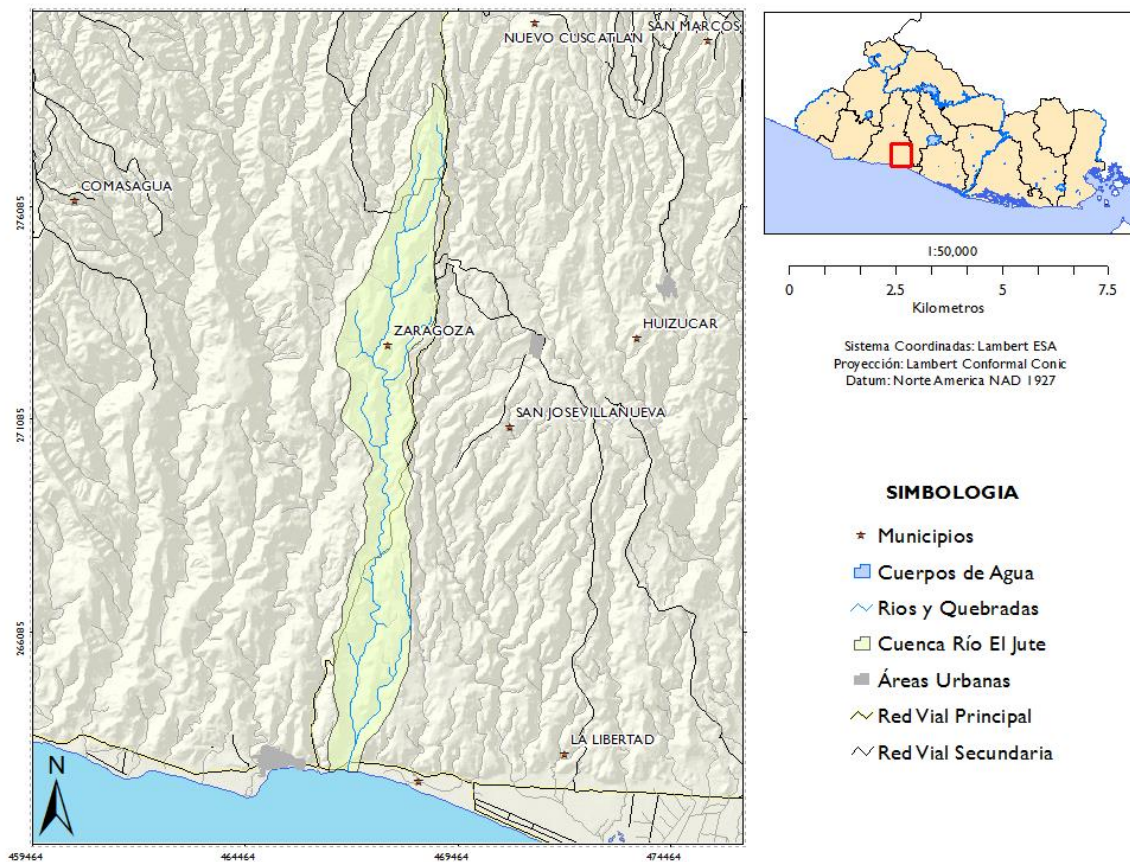


Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río El Jute

b. Geología

De acuerdo a la geología dentro del El Jute: el mayor porcentaje lo conforma suelos de formación geológica Cuscatlán, la cual es una formación geológica antigua y compuesta por productos extrusivos de los volcanes individuales. Estos productos son corrientes de lavas,

aglomerados, tobas, escorias y cenizas volcánicas. En esta formación se han generado los suelos Andisoles y Litosoles que tienen muy buenas características de infiltración. Adicionalmente se encuentran las formaciones geológicas El Bálsamo las cuales son productos volcánicos con abundantes aglomerados e intercalaciones de tobas volcánicas endurecidas y corriente de lava basáltica-andesíticas. Esta formación ha dado origen a los suelos de orden de los Latosoles Arcillo Rojizo formados por arcillas muy plásticas y pegajosas y con algunas limitaciones para infiltración. (Gobierno de la República de El Salvador - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 1981)

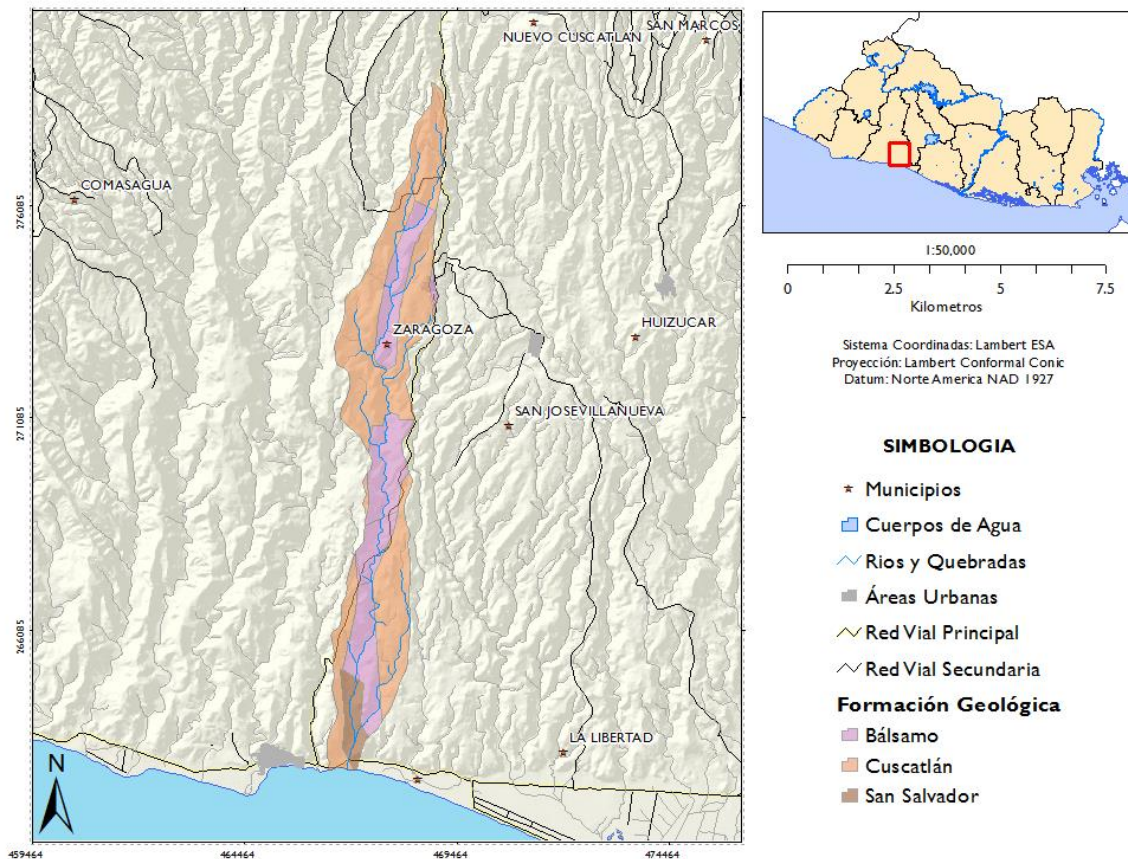


Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río El Jute

c. Hidrografía

La red hídrica que contiene a la cuenca El Jute nace en el municipio de Zaragoza y desemboca en el Océano Pacífico, lo cual lo convierte en un tipo de cuenca exorreica. Asimismo, el tipo de drenaje es dendrítico o flujo de árbol, con un ángulo de llegada menor a los 90 grados. Los tributarios que conforman a la cuenca son en su mayoría, quebradas de invierno y que no tienen nombre definido.

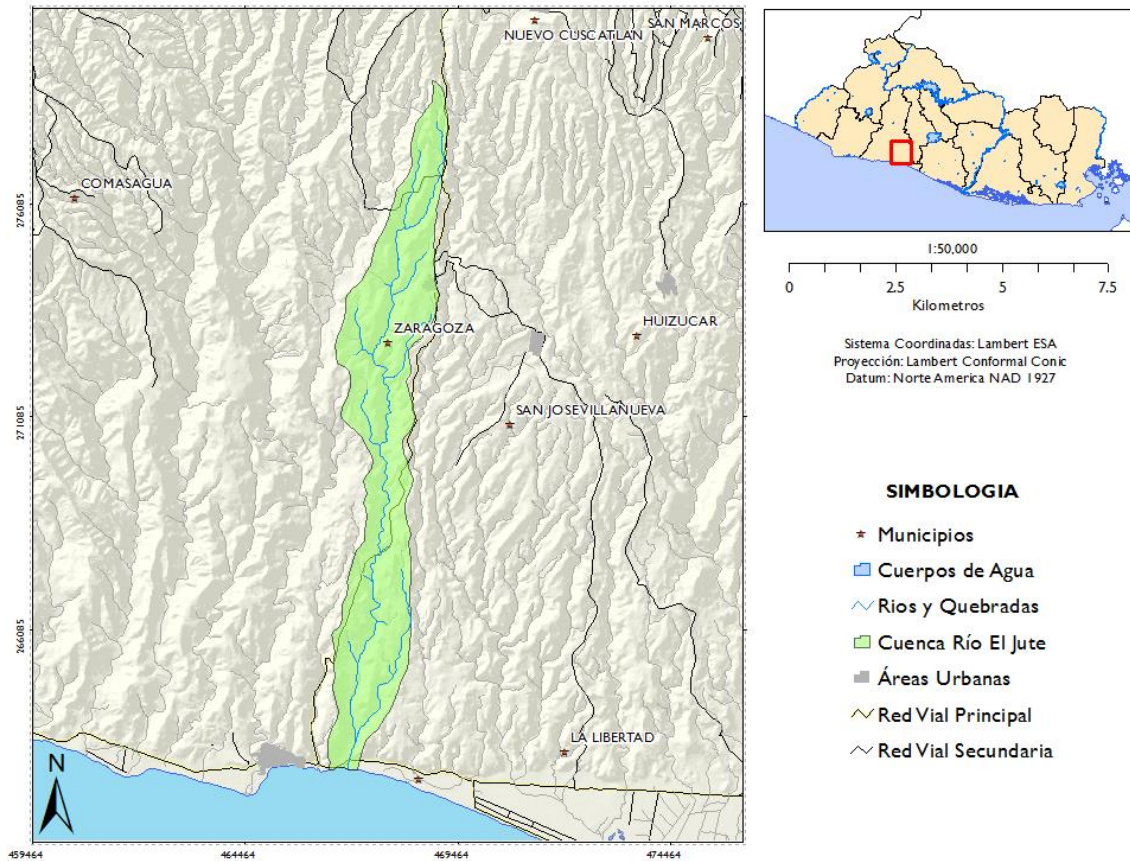


Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río El Jute

d. Clima

La cuenca en estudio se divide en dos zonas climáticas de acuerdo a la clasificación de Köppen, Sapper y Laver. (Gobierno de la Republica de El Salvador - Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo, 1981)

- 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.

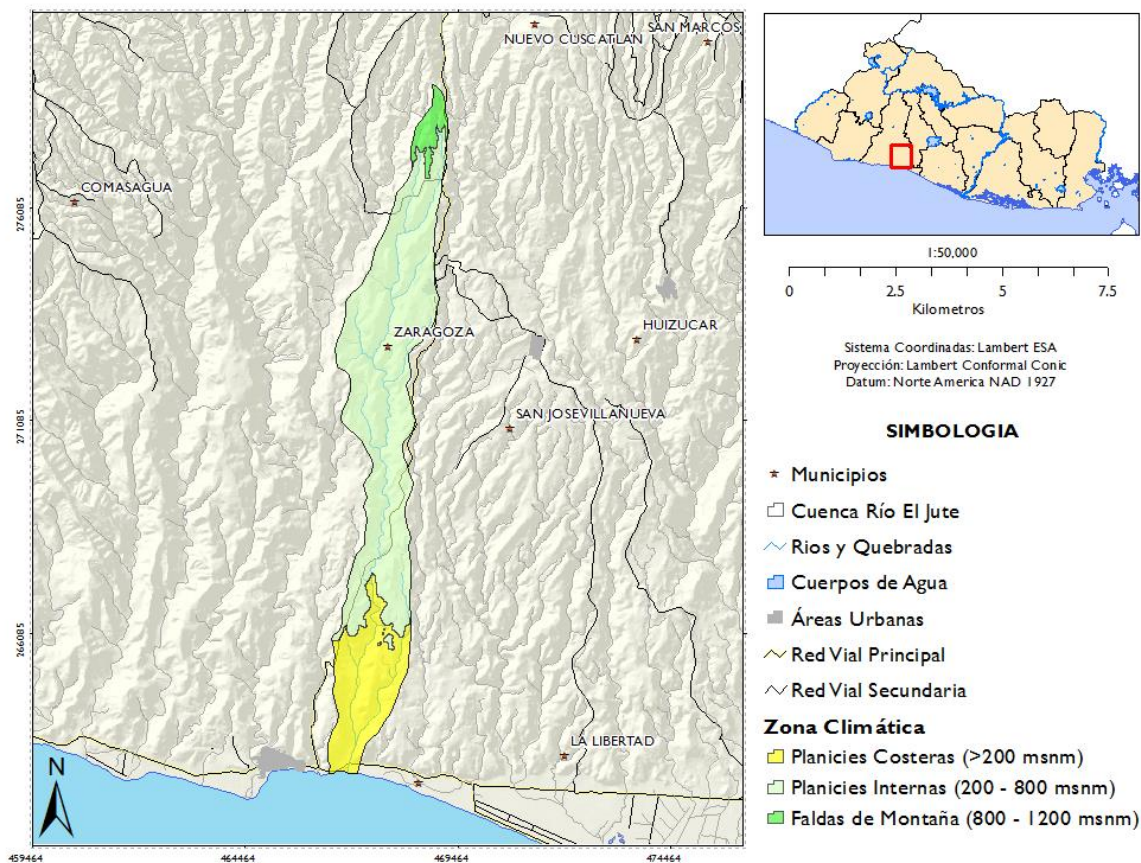


Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río El Jute

e. Precipitación

De acuerdo al Balance Hídrico Integrado (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2005), la cuenca del Río El Jute tiene una Precipitación Promedio Anual (1971-2001) que varía entre un máximo anual de 1,947 mm, un mínimo anual de 1,927 mm y un promedio anual de 1,964 milímetros de precipitación.

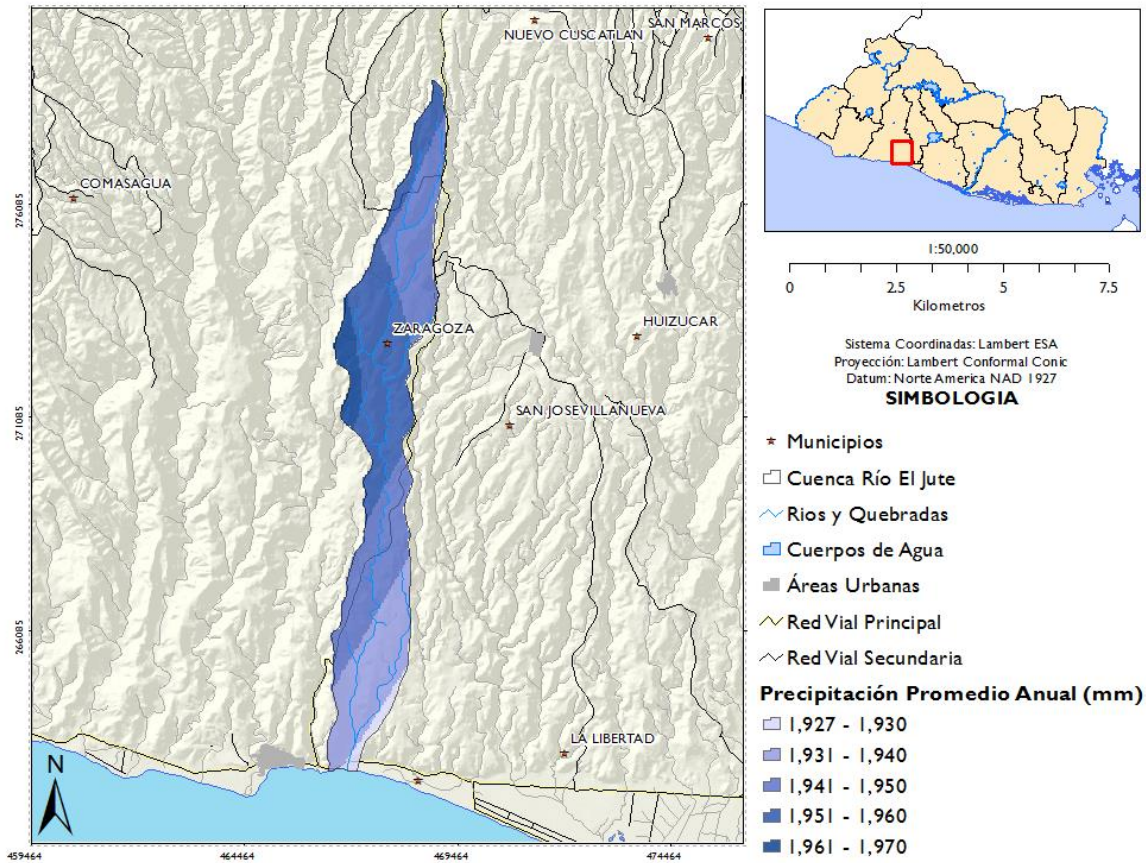


Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001)

f. Evapotranspiración Potencial

Se define como la evapotranspiración que se produciría si 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 1,746 mm, así como un valor máximo de evapotranspiración potencial de 1,814 mm y 1,675 mm como valor mínimo.

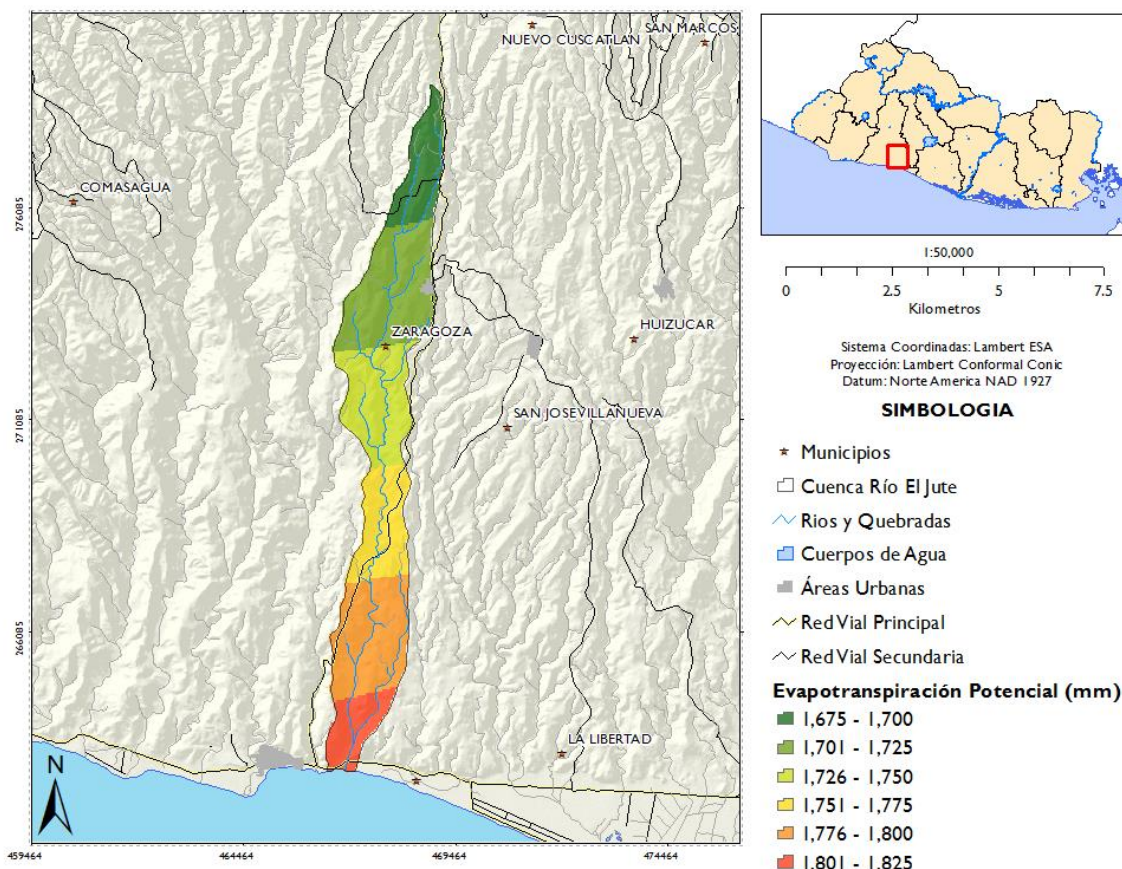


Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001)

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 un gran porcentaje de área de vegetación cerrada tropical. Asimismo, en la zona alta, se observa zonas de cultivos permanentes como Cafetales, los cuales permiten tener una buena calidad de infiltración en dicha zona.

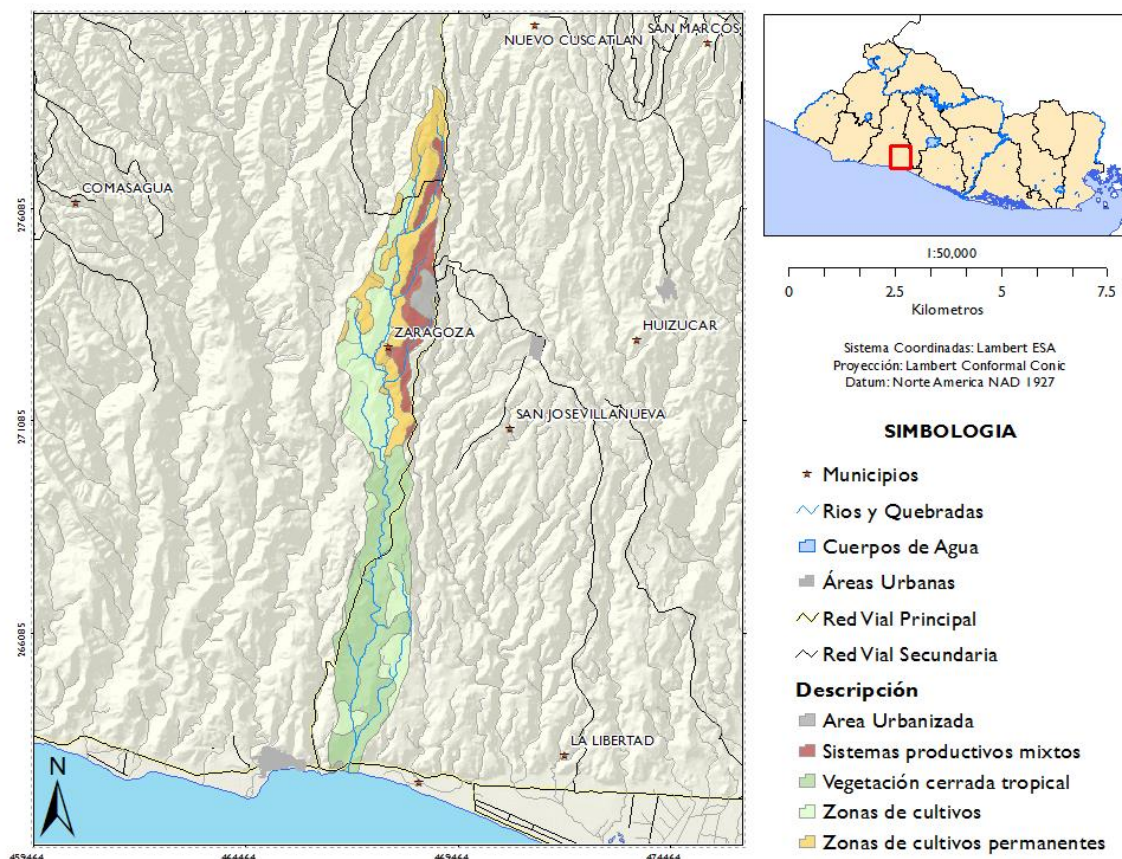


Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca El Jute

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 El Jute es de 20.42 km² y con un perímetro de 54.30 km.

j. Tipo de Suelos

En la cuenca del Río El Jute se encuentran tres asociaciones de grandes grupos de suelos, los cuales se detallan a continuación.

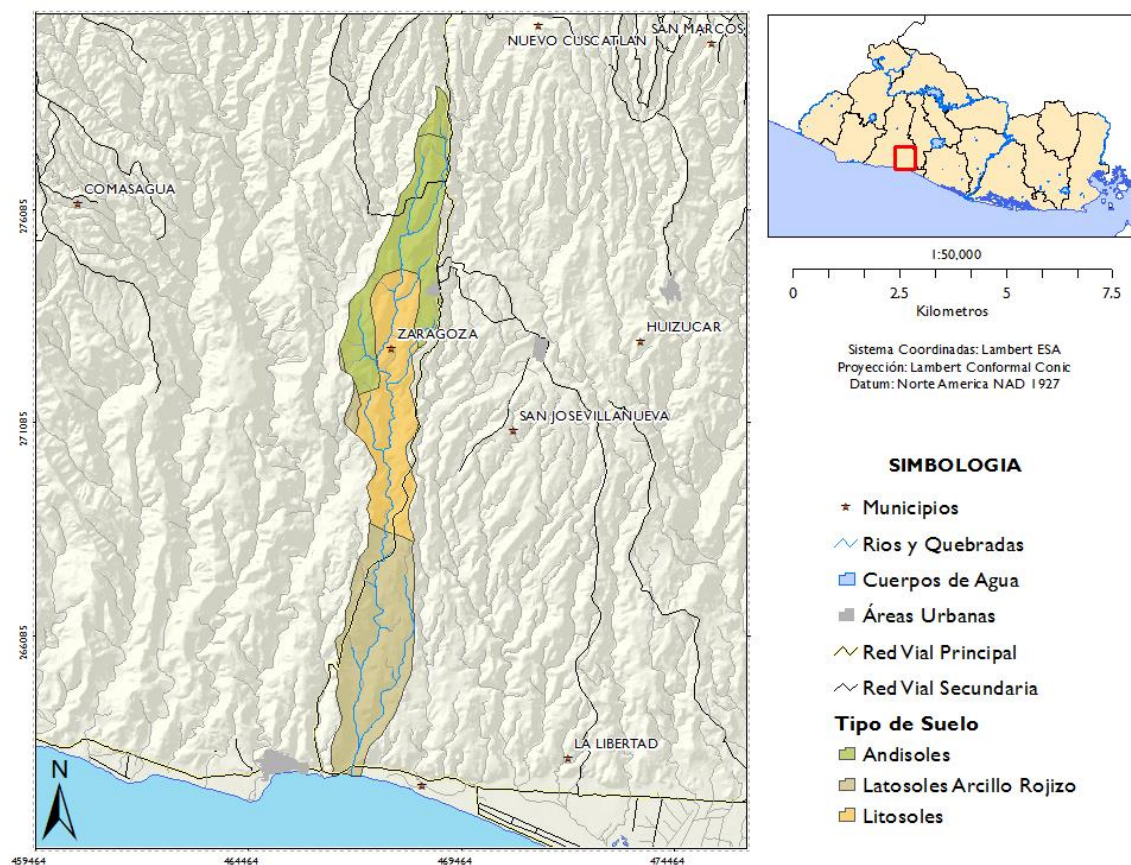


Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca El Jute

- 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.

- Litsoles

Estos tipos de suelos son de fase ondulada a montañosa muy accidentada. Son aptos, en su mayoría, para forestales y su potencial agrícola es moderadamente bajo.

k. Uso de Suelos

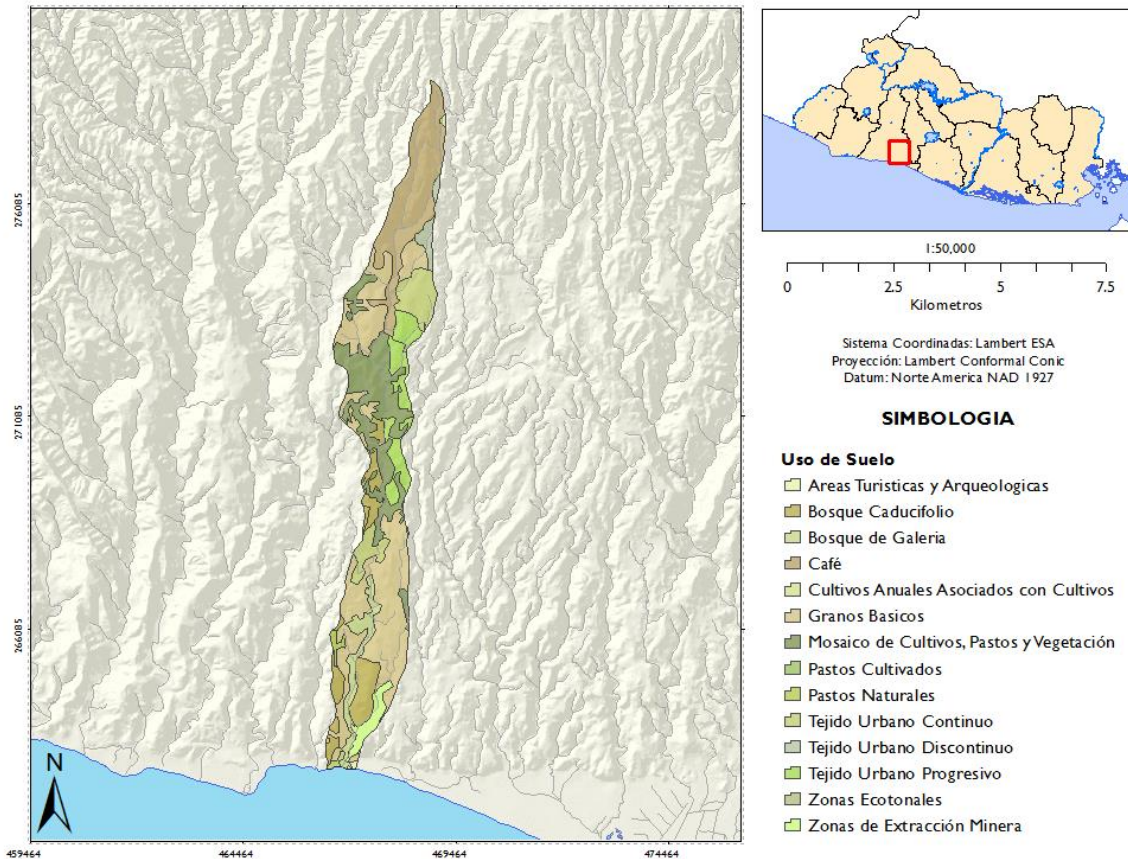


Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003

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 43% de área de la cuenca con una clasificación de uso de suelo en cultivos de granos básicos, 17% corresponde a cultivos de pastos y vegetación. Adicionalmente un 17% corresponde a zonas de Tejido Urbano Continuo.

Porcentaje Uso de Suelo - Cuenca Río El Jute

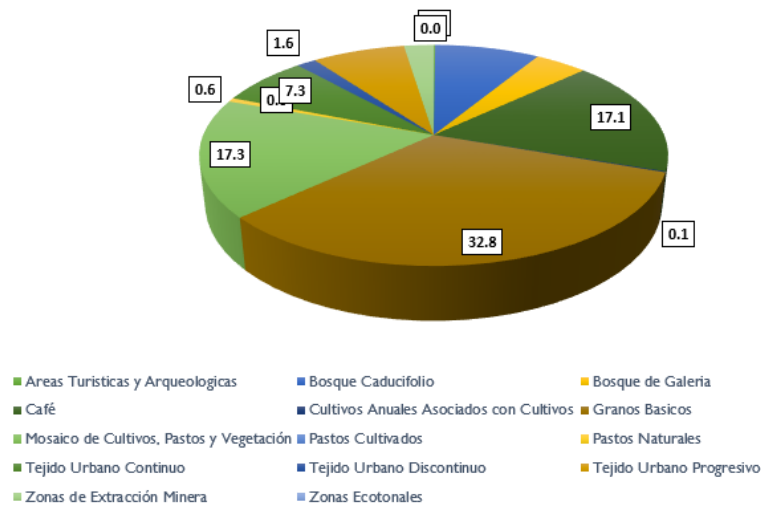


Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca El Jute

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.

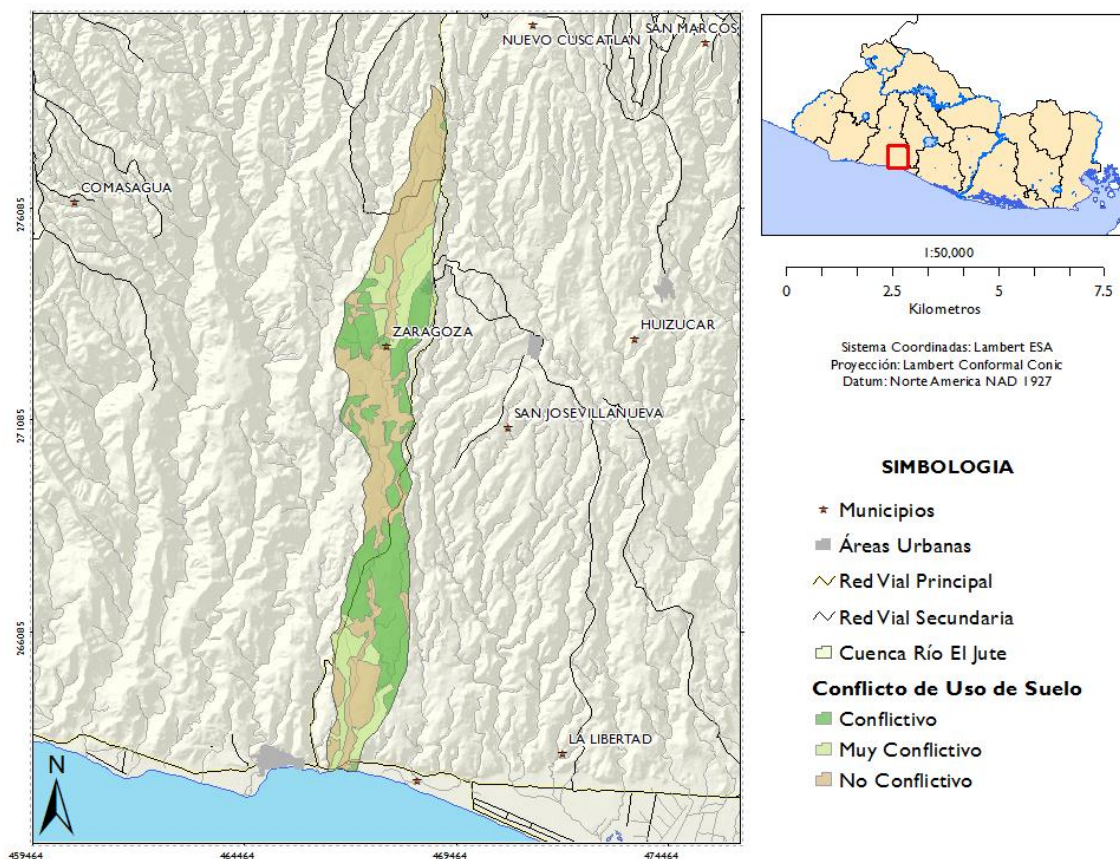


Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río El Jute

m. Orden de corriente

El orden de corriente es una clasificación que se da 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 El Jute usando el método de Strahler, el cual es de 3

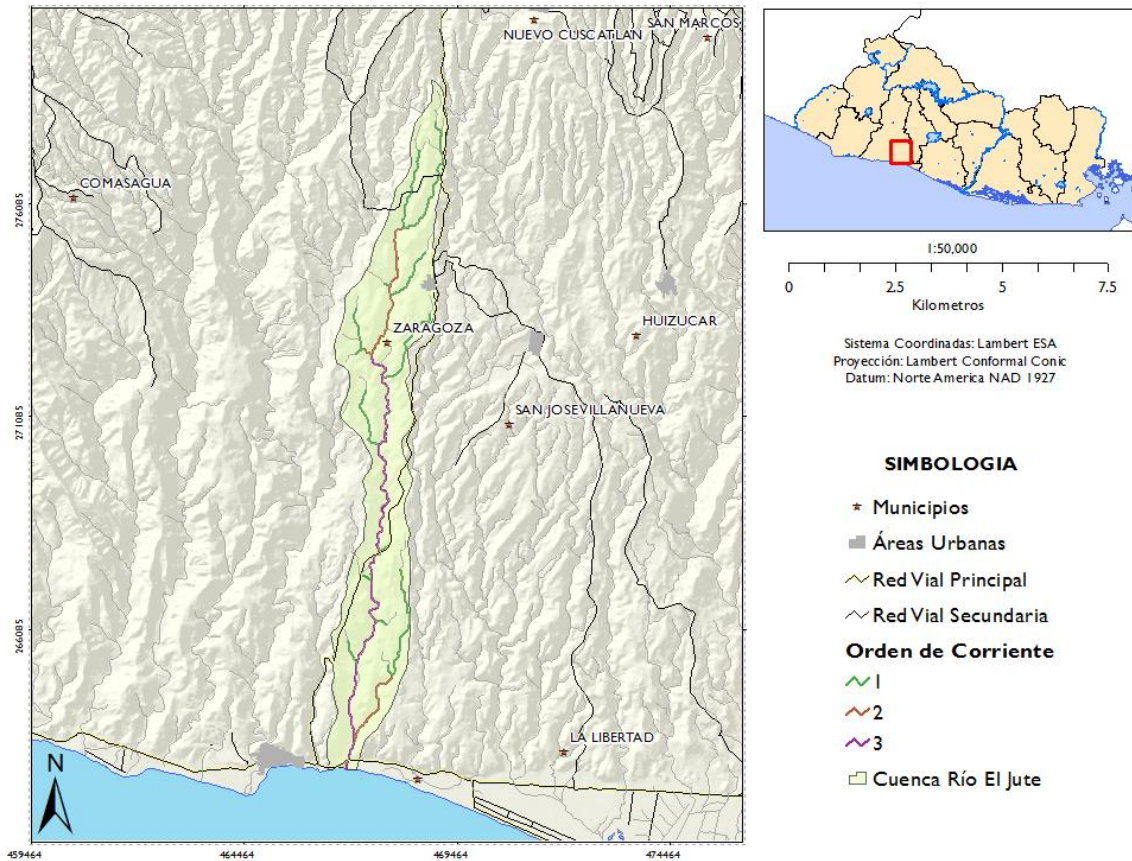


Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca El Jute

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 km², “L” es la longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km. La interpretación de este valor funciona bajo 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/km² corresponde a una cuenca pobremente drenada mientras que los valores de 3.5 km/km² o mayores, indican la eficiencia de la red de drenaje. El valor calculado para la cuenca del río San Simón se muestra en la

Tabla 1, 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 ²)	Longitud (km)	Densidad Drenaje (km/km ²)
El Jute	20.42	33.73	1.65

Tabla 1: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río El Jute

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_f”

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_f = 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 ²)	Longitud (km)	Factor de Forma “K _f ”
El Jute	20.42	15.72	0.08

Tabla 2: Valor del factor de forma “K_f” en la cuenca Río El Jute

- 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.

Cuenca	Área (km²)	Perímetro (km)	Índice de Gravelius “K_c”
El Jute	20.42	43.30	2.70

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 El Jute es de 18.50% 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 desembocadura al Océano Pacífico.

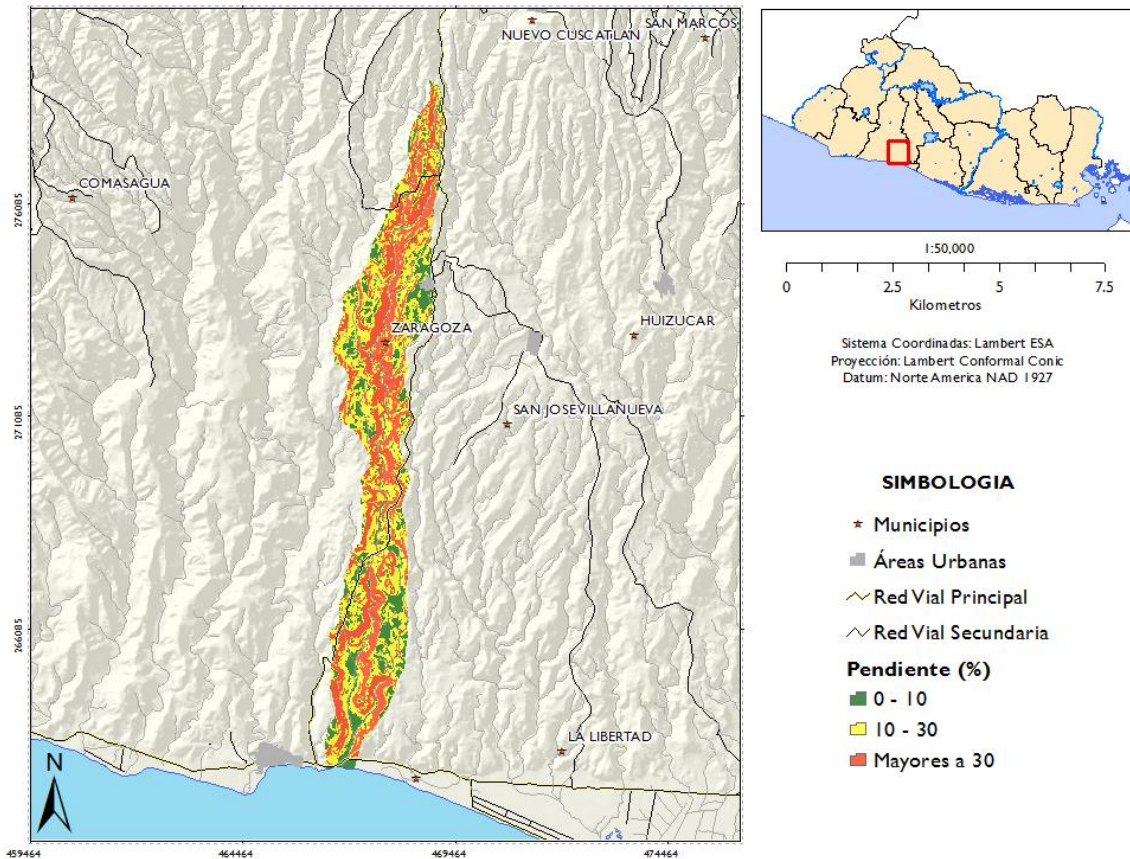


Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río El Jute

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 El Jute es de 4.40%, dicho valor se ve disminuido en la zona de desembocadura con una pendiente menor al 2%. Esta zona de pendiente baja es un área de recepción de material sedimentario que arrastra el río desde la parte alta (pendiente altas entre 8%-12%)

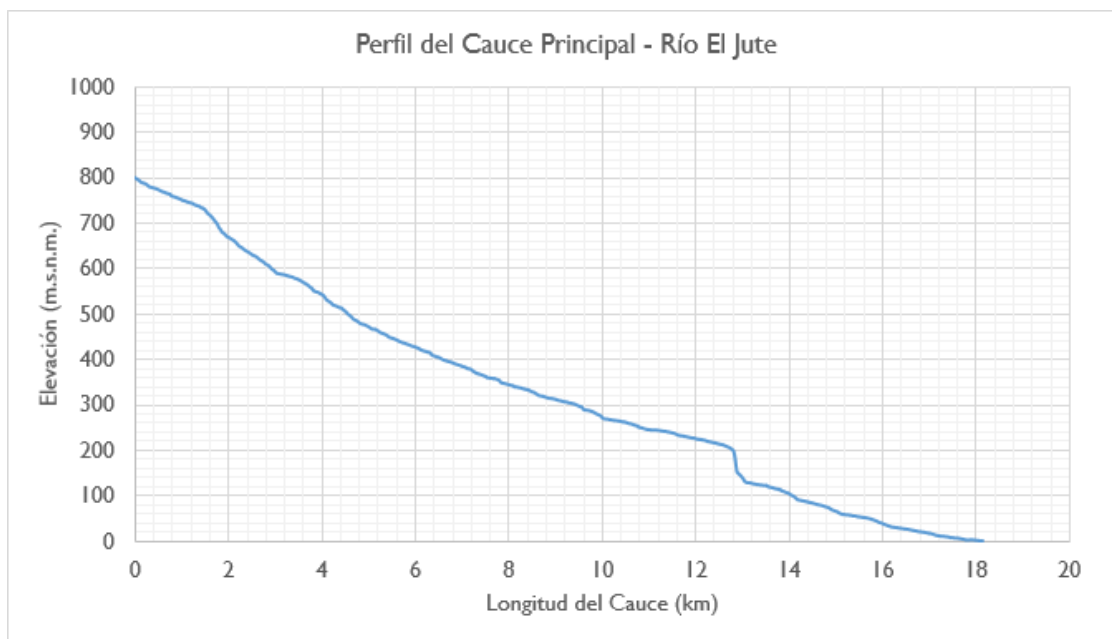


Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauze Principal Río El Jute

r. Curva Hipsométrica.

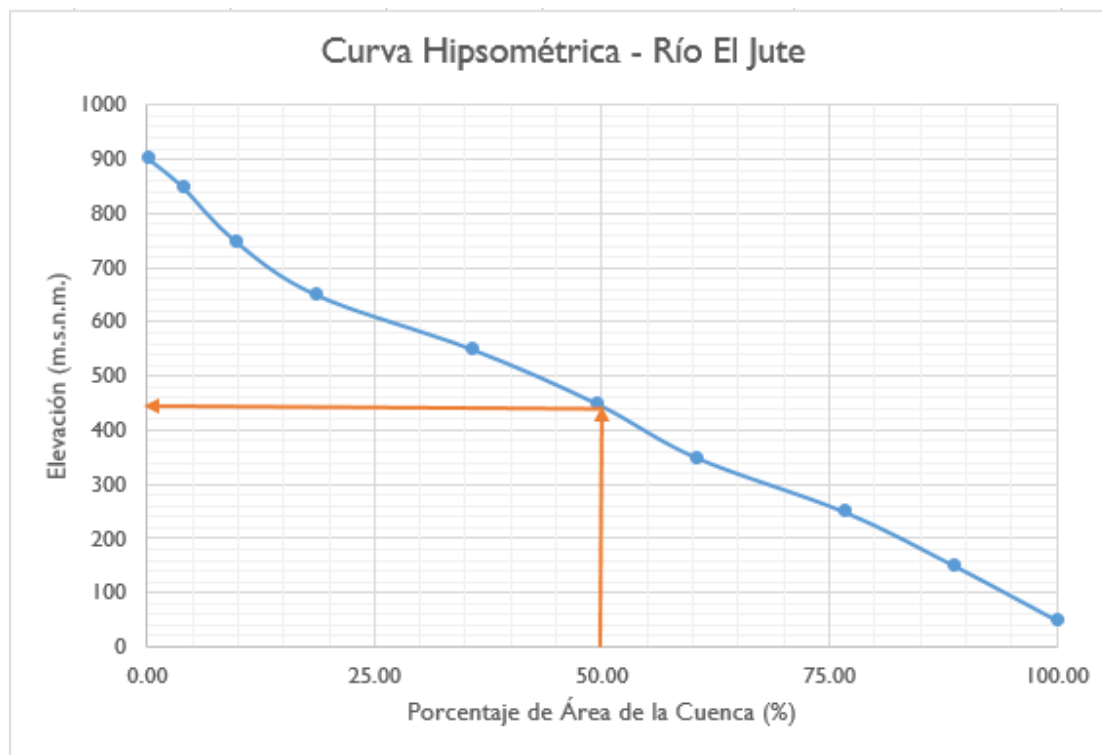


Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río El Jute

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 y al nivel de actividad de los diferentes procesos de erosión en los ríos.

En la cuenca del río El Jute, la curva hipsométrica refleja una edad del río en equilibrio con una altura mediana de la cuenca de 450 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.

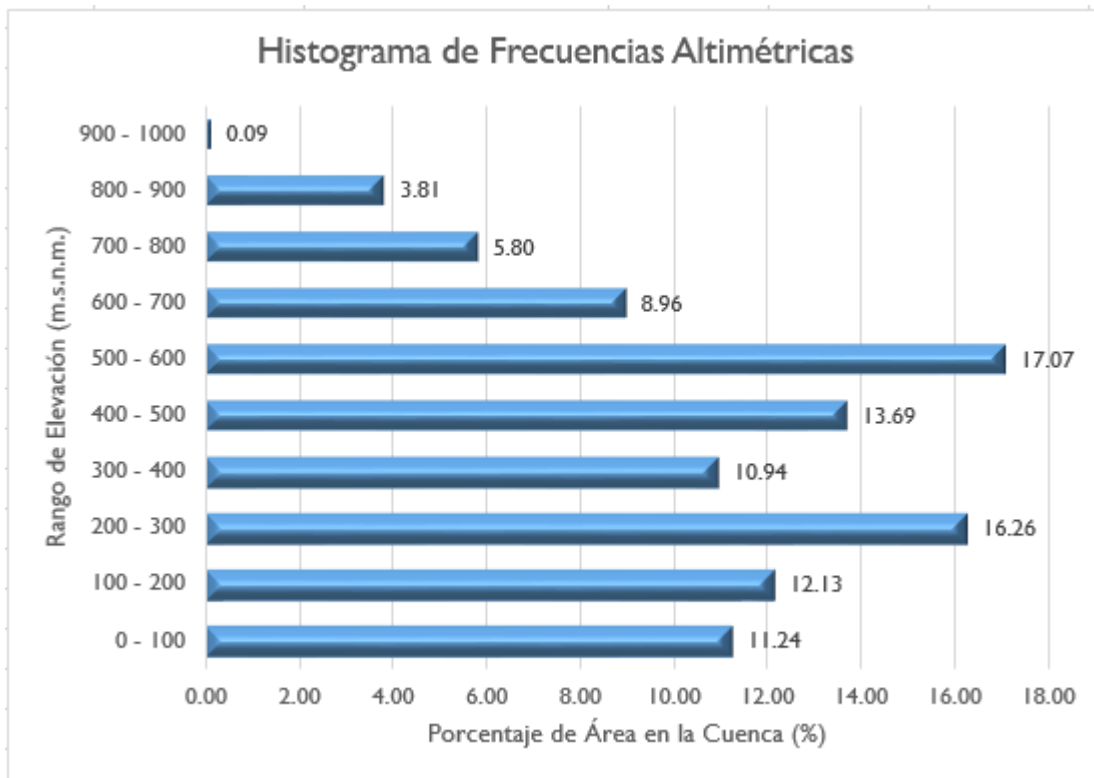


Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río El Jute

VARIABLE	PARAMETRO	VALOR
Parámetros de Forma	Area (km ²)	20.42
	Perímetro (km)	43.30
	Índice de Gravelius (K _c)	2.70
	Factor de Forma (K _f)	0.08
Parámetros de Relieve	Cota máxima (msnm)	906
	Cota mínima (msnm)	0
	Desnivel altitudinal (msnm)	906
	Pendiente Media (%)	18.50
	Altura más frecuente (msnm)	500 - 600
	Altura Mediana	450
	Longitud de cauce principal (km)	15.72
	Longitud de cauce en la cuenca (km)	33.73
Parámetros de cauce principal	Densidad de drenaje	1.65
	Elevación máxima del cauce (msnm)	800
	Elevación mínima del cauce (msnm)	0
	Pendiente media del cauce (%)	4.40
	Orden de cuenca	3

Tabla 3: Resumen de Parámetros Cuenca Río El Jute

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 El Jute

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 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.

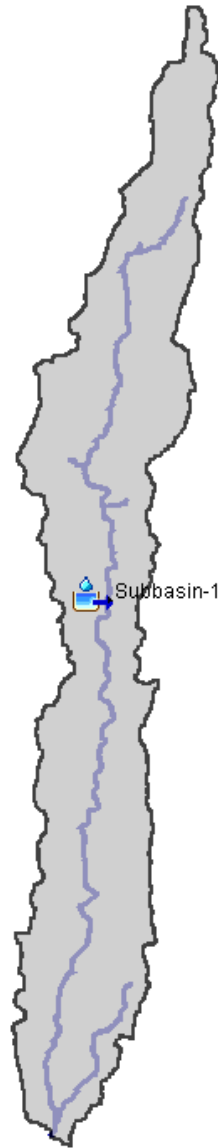


Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS

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 El Jute

Subcuenca	Tiempo de Concentración (Min)	Número de Curva (condición antecedente húmedas)
W220	125.08	86.29

Tabla 4: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca El Jute

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 “Relaciones entre Láminas de Lluvia en El Salvador” y “Distribución Temporal de Lluvias en El Salvador” (Erazo, 2011). En dicho trabajo se realizó un trabajo estadístico de información pluviométrica y pluviográfica, para establecer relaciones de lluvia máxima de 1 día pluviométrico con lluvias máximas para 24 horas y con duración menores. Asimismo se estableció la distribución temporal típica de las lluvias en el país para diferentes duraciones. Como resultado, se obtuvo a nivel nacional un mapa para 1 día de precipitación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 300 años.

	W220
2 años	107.82
5 años	152.35
10 años	181.57
25 años	221.07
50 años	249.22
100 años	277.11
200 años	304.90
300 años	325.41

Tabla 5: Precipitación Máxima para 1 día y diferentes Periodos de Retorno

Para la cuenca del Río El Jute se calculó una precipitación promedio por subcuenca ilustrada en la Figura 18 y para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 300 años.

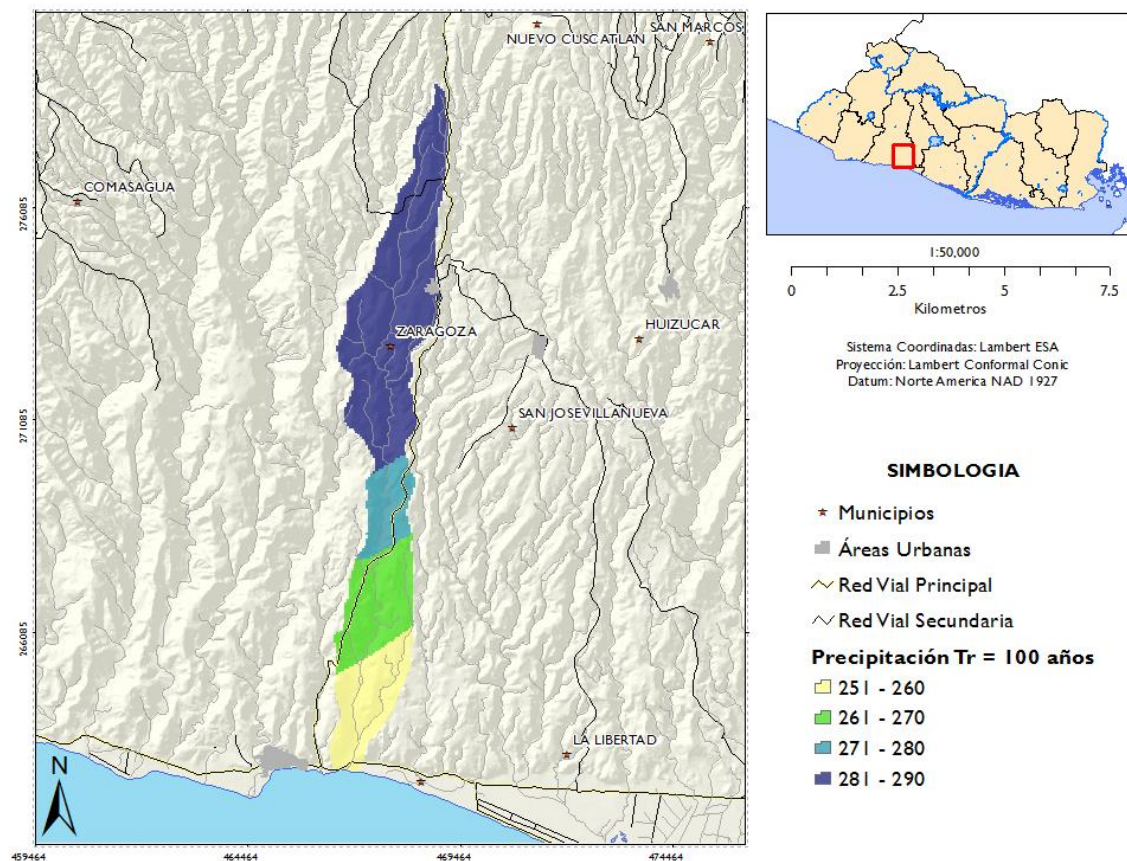


Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para 1 día y un Periodo de Retorno de 100 años

Los valores mostrados en la Tabla 5 se deben ajustar mediante un factor de intervalo fijo de observación, ya que al multiplicar cada lámina de precipitación por 1.14, conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas con lluvias máximas verdaderas.

	W220
2 años	122.91
5 años	173.68
10 años	206.99
25 años	252.02
50 años	284.11
100 años	315.91
200 años	347.59
300 años	370.97

Tabla 6: Precipitaciones Máximas por Intervalo Fijo de Observación

Una vez calculado la precipitación por intervalo fijo de observación se reducirá esa precipitación de 24 horas (1 día) a una duración de 2 horas (120 minutos), ya que refleja la duración característica de aguaceros típicos en la región y por lo tanto resulta adecuado para el análisis.

	W220
2 años	63.92
5 años	90.31
10 años	107.63
25 años	131.05
50 años	147.74
100 años	164.27
200 años	180.74
300 años	192.90

Tabla 7: Precipitación Máxima para una duración de 2 horas

Posteriormente se reducirá los valores de la Tabla 7 por un factor de reducción de área, debido a la no simultaneidad de la precipitación en el mismo lapso de tiempo dada su área de recogimiento. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012/2013).

	W220
2 años	58.16
5 años	82.18
10 años	97.95
25 años	119.26
50 años	134.44
100 años	149.49
200 años	164.48
300 años	175.54

Tabla 8: Precipitación Máxima por factor de Reducción de Área

Finalmente la distribución temporal de las lluvias se determinó con base al estudio “Distribución Temporal de Lluvias en El Salvador” (Erazo, 2011), en el cual se establece, a partir de un análisis estadístico, la distribución típica de las lluvias en el país, para duraciones promedio de 2 horas. Esta distribución se realizó para cada uno de los periodos de retorno evaluados en este estudio.

Cuenca W220								
	2años	5años	10años	25años	50años	100años	200años	300años
00:15	8.81	12.45	14.84	18.07	20.37	22.65	24.92	26.60
00:30	25.03	35.36	42.15	51.32	57.85	64.32	70.78	75.54
00:45	11.63	16.44	19.59	23.85	26.89	29.90	32.90	35.11
01:00	5.29	7.47	8.90	10.84	12.22	13.59	14.95	15.96
01:15	3.53	4.98	5.94	7.23	8.15	9.06	9.97	10.64
01:30	1.76	2.49	2.97	3.61	4.07	4.53	4.98	5.32
01:45	1.06	1.49	1.78	2.17	2.44	2.72	2.99	3.19
02:00	1.06	1.49	1.78	2.17	2.44	2.72	2.99	3.19

Tabla 9: Distribución Temporal para la Subcuenca W220 y un $Tr = 100$ años

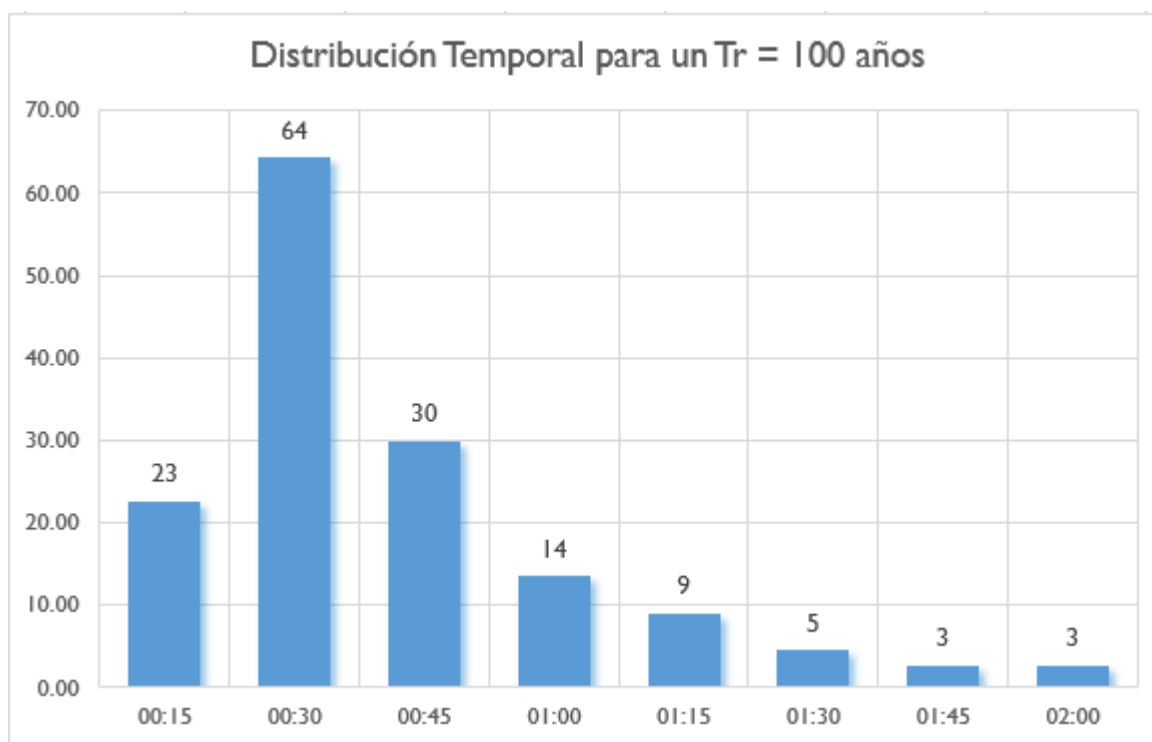


Figura 20: Hietograma de Diseño para la Cuenca del Río El Jute para un $Tr = 100$ años

c. Resultados

Una vez ingresados los distintos hietogramas de diseño en el modelo HEC-HMS, se obtuvieron hidrograma de diseño en el cauce del río El Jute, en el sitio conocido como comunidad El Jute (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 como de lluvia.

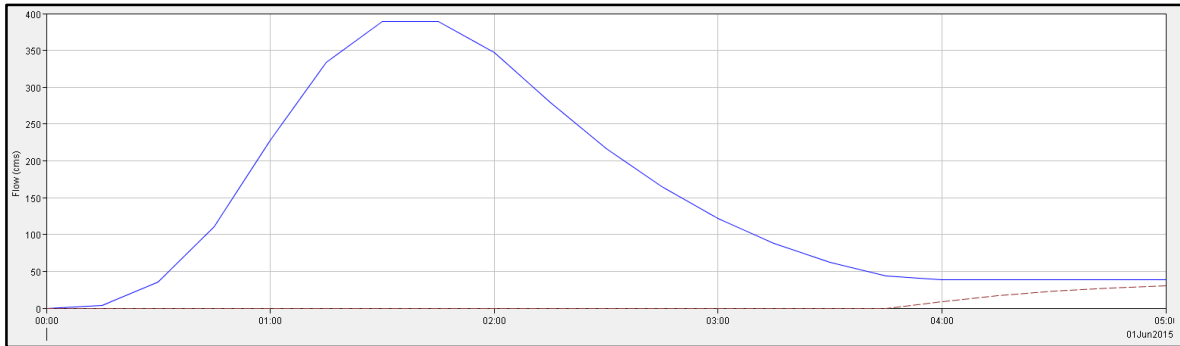


Figura 21: Hidrograma de diseño en Comunidad El Jute con un $Tr = 100$ años

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 la comunidad El Jute. Este lugar ha sido ubicado como posible zona donde se podría instalar una mira de colores, la cual, sirva 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 libre HEC-RAS, el cual es desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos y estima, bajo diferentes tipos de flujo, el tirante generado por un hidrograma o caudal de entrada. Para la cuenca del Río El Jute, 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 levantada en la Comunidad El Jute, en donde se observa que para periodos de retorno mayores a 10 años, el nivel del río alcanza la planicie de inundación y se desbordaría.

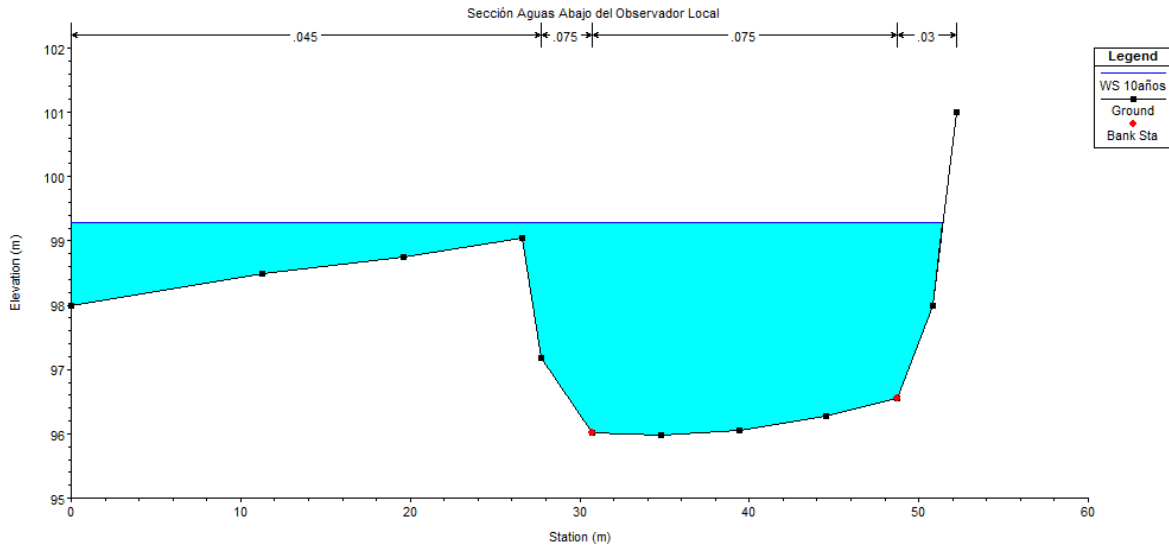


Figura 22: Sección Transversal en Río El Jute en Comunidad El Jute con un Periodo Retorno de 10 años

GENERACIÓN DE UMBRALES DE RÍO

Para la determinación del umbral del nivel de río en Comunidad El Jute, se ocuparon los diferentes tirantes obtenidos para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 300 años) y se extrajo el periodo de retorno que produciría un desbordamiento local y aguas abajo del cauce. El lugar seleccionado para instalar la mira, se encuentra aproximadamente a 100 metros aguas arriba del Puente de la Carretera Litoral. Este sitio permitirá activar los protocolos de acción en toda la cuenca del Río El Jute.

Para el caso del Río El Jute, el periodo de retorno que produciría problemas de desbordamiento sería de 10 años, por lo que se trabajará con los umbrales de 10, 5 y 2 años para delimitar los umbrales del río en base a las etapas de monitoreo, aviso y emergencia.

EMERGENCIA

- Evacuación de la población que vive en las zonas susceptibles a desbordamiento del Río. Una vez superado este nivel, el río estará en etapa de desbordamiento.

AVISO

- Todos los comites se activan y se preparan para un posible desbordamiento. Se mantiene el monitoreo constante al nivel del río, además de mantener comunicación activa con Protección Civil y/o Observatorio Ambiental

MONITOREO

- Se brinda el seguimiento al nivel del río debido a una precipitación fuerte registrada en Zaragoza. Se activa el comite de monitoreo y alarma comunal.

Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río El Jute

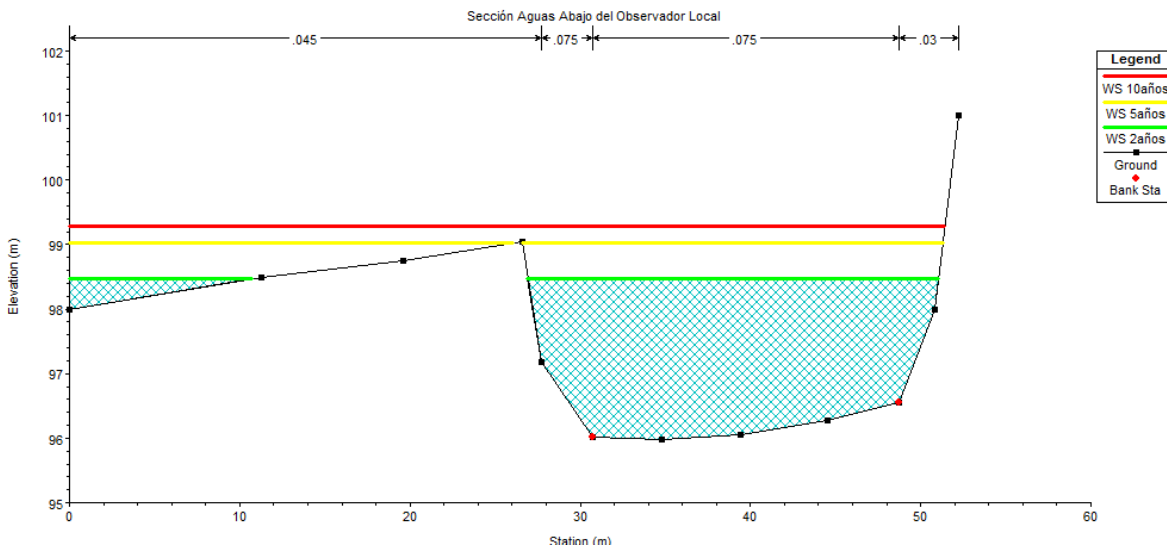


Figura 24: Umbrales de Nivel de Río El Jute en Comunidad El Jute

Lugar Propuesto	Monitoreo	Aviso	Emergencia
Comunidad El Jute	2.50 metros	3.00 metros	3.30 metros

Tabla 10: Umbrales de Nivel de Río El Jute en Comunidad El Jute - Esperanza

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 2, 5 y 10 años para generar las etapas de monitoreo, aviso y emergencia, respectivamente. Se extrajo las precipitaciones para los periodos de retorno analizados y de duración de 24 horas (ver Tabla 6). Posteriormente se desagregó la precipitación en intervalos horarios en base al análisis de la Distribución Temporal de Lluvias En El Salvador (Erazo, 2011); y 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

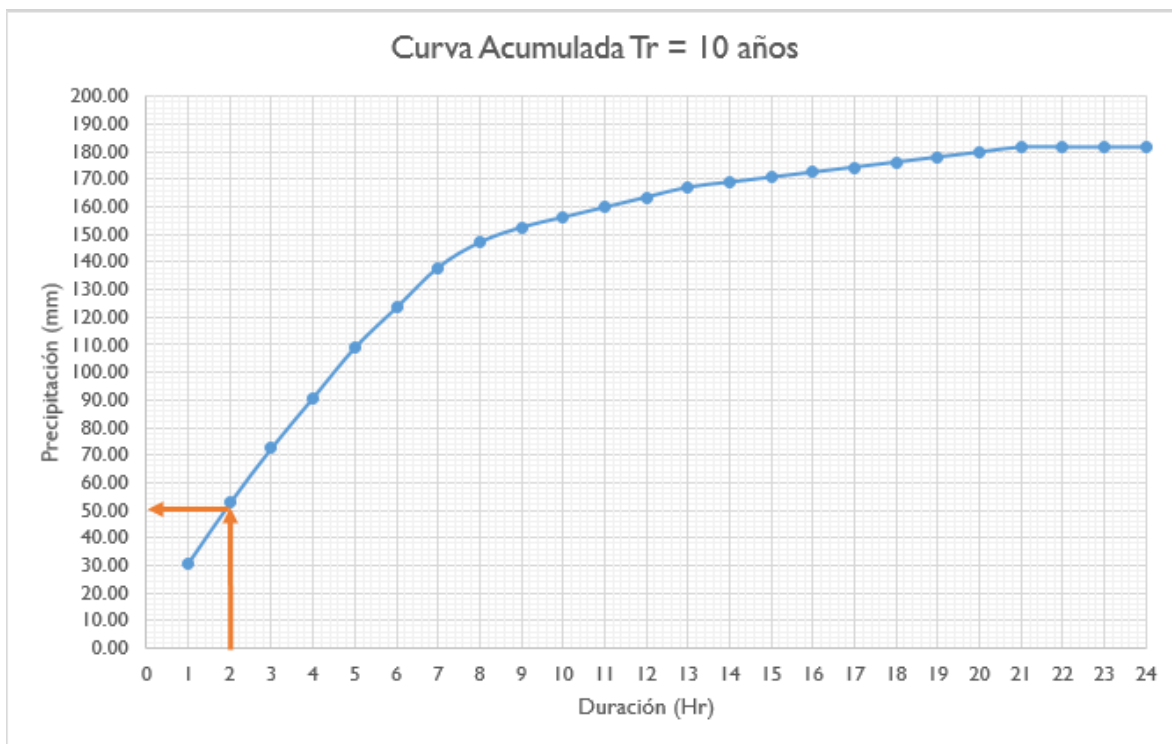


Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con $Tr = 10$ años

Una vez generada la curva de precipitación acumulada, se calculó el tiempo de concentración en el cauce del Río El Jute, hasta el punto en interés (2.08 horas) y se interceptó con la curva de precipitación acumulada, el valor de precipitación. El resultado nos brinda el umbral de precipitación para el periodo de retorno analizado.

En la Tabla II, se muestra los umbrales de precipitación calculados para el Sistema de Alerta Temprana del Río El Jute

Duración	Monitoreo	Aviso	Emergencia
24 horas	30 mm	40 mm	50 mm

Tabla 11: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río El Jute

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 Comunidad Gallo Solo y El Jute – La Esperanza. Adicionalmente, la Gerencia de Gestión de Riesgo y Prevención de Desastres de la Alcaldía del Puerto de La Libertad, ha brindado información de observadores locales en Agua Escondida II, El Jute – Bocana y Bosque Verde.

NOMBRE	COMUNIDAD	TELEFONO
María O. Montoya	Agua Escondida II	7082-7710
Wilfredo Ortiz P.	Bosque Verde	7158-7910
Claudia C. Cortez	Gallo Solo	7541-5792
Arnoldo Corvera	El Jute – Esperanza	6126-3818
Maribel Zepeda	El Jute – Bocana	7346-5554

Tabla 12: Red de Observadores Locales en Río El Jute

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 El Jute, la cual es la estación Zaragoza. Dicha estación

realizan la transmisión de datos cada 15 minutos. Sin embargo, no se tiene la cobertura en la parte alta y media de la cuenca.

En la Figura 26, se observa los puntos donde se propone la instalación de pluviómetros, tales como el Cantón Ayagualo y El Cimarrón.

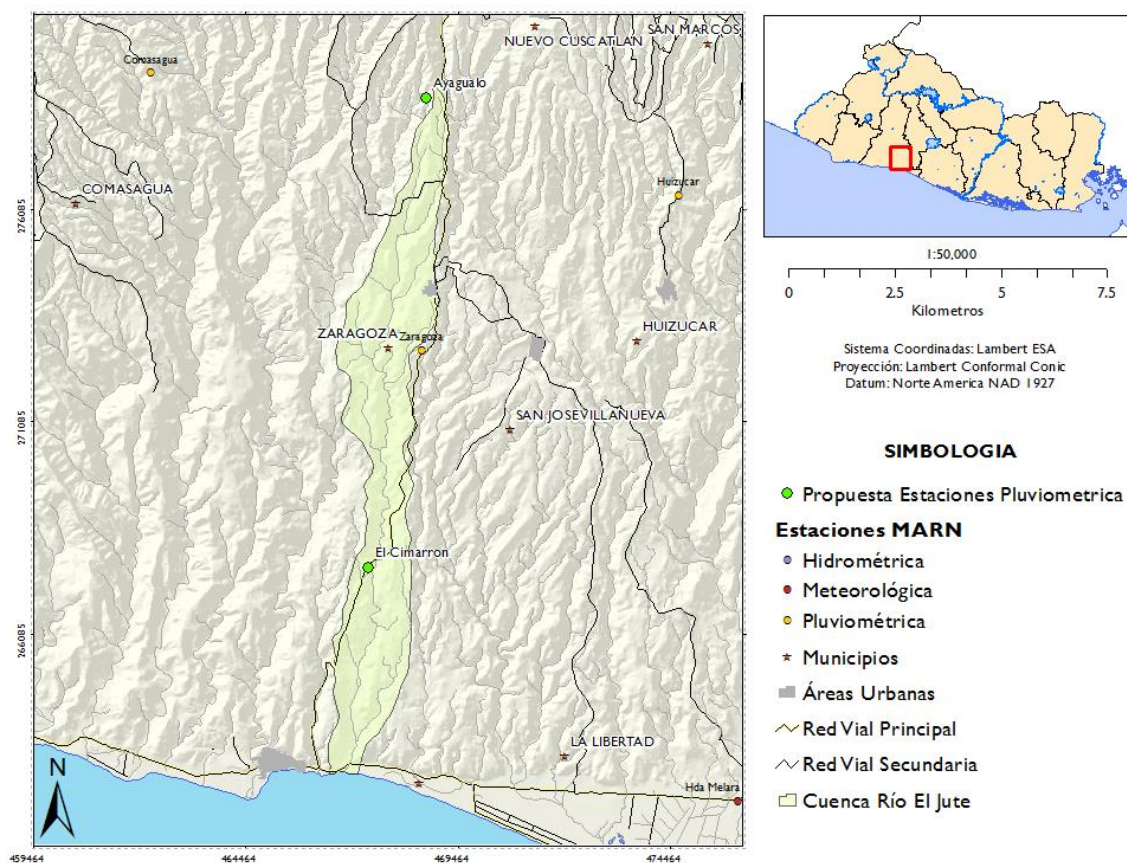


Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros



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.

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.

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