# SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES

Cuenca Río Goascorán

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 ..... 8

d. Clima ..... 9

e. Precipitación ..... 10

f. Evapotranspiración Potencial ..... 11

g. Vegetación ..... 12

h. Características Geomorfológicas ..... 13

i. Área de la Cuenca ..... 13

j. Tipo de Suelos ..... 14

k. Uso de Suelos ..... 15

l. Conflicto de Uso de Suelo ..... 16

m. Orden de corriente ..... 17

n. Densidad de drenaje ..... 18

o. Forma de las cuencas ..... 19

p. Pendiente media de la cuenca ..... 20

q. Pendiente media del cauce principal ..... 21

r. Curva Hipsométrica ..... 22

s. Histograma de Frecuencias Altimétricas ..... 23

Modelación hidrológica ..... 24

a. Modelo de Cuenca ..... 24

b. Determinación de hietogramas de diseño ..... 26

c. Resultados ..... 29

Modelación Hidráulica ..... 30

a. Resultados ..... 30

Generación de Umbrales de Río ..... 31

Generación de Umbrales de Precipitación ..... 33

Red de Observadores Locales ..... 34

Propuesta de Sitios Para Instalación de Pluviómetros ..... 35

Trabajos citados ..... 36

## Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de Sistemas de Alerta Temprana por Inundación en El Salvador. .....6

Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río San Simón.....7

Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río San Simón.....8

Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río San Simón.....9

Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río San Simón..... 10

Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001)..... 11

Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001)..... 12

Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca San Simón ..... 13

Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca San Simón..... 14

Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003.. 15

Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca San Simón..... 16

Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río San Simón ..... 17

Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca San Simón..... 18

Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río San Simón..... 21

Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río San Simón..... 22

Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río San Simón..... 22

Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río San Simón ..... 23

Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS..... 25

Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para 1 día y un Periodo de Retorno de 100 años ..... 27

Figura 20: Hietograma de Diseño para Subcuenca W110 y un Tr = 100 años ..... 29

Figura 21: Hidrograma de diseño en Cantón Los Horcones con un Tr = 100 años..... 30

Figura 22: Sección Transversal en Río San Simón en Cantón Los Horcones con un Periodo Retorno de 10 años ..... 31

Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río San Simón..... 32

Figura 24: Umbrales de Nivel de Río en Cantón Los Horcones ..... 32

Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con Tr = 10 años ..... 33

Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros ..... 35

## Índice de Tablas

Tabla 1: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río San Simón..... 19

Tabla 2: Valor del factor de forma "Kf" en la cuenca Río San Simón..... 19

Tabla 3: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca San Simón ..... 26

Tabla 4: Precipitación Máxima para 1 día y diferentes Periodos de Retorno ..... 26

Tabla 5: Precipitaciones Máximas por Intervalo Fijo de Observación..... 27

Tabla 6: Precipitación Máxima para una duración de 2 horas ..... 28

Tabla 7: Precipitación Máxima por factor de Reducción de Área..... 28

Tabla 8: Distribución Temporal para la Subcuenca W110 y un Tr = 100 años ..... 29

Tabla 9: Umbrales de Nivel de Río San Simón. Cantón Los Horcones ..... 32

Tabla 10: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río San Simón ..... 34

Tabla 11: Red de Observadores Locales en Río San Simón..... 34

# 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 San Simón 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.

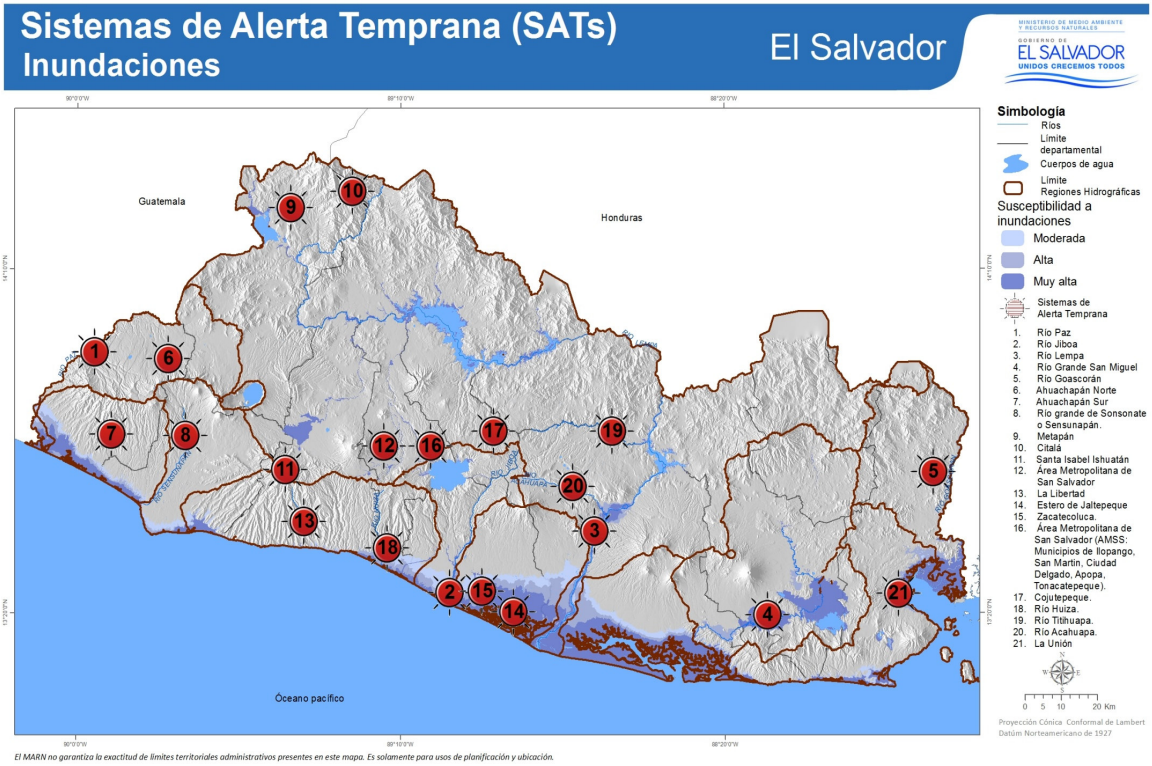


*Figura 1: Mapa de Sistemas de Alerta Temprana por Inundación en El Salvador.*

# CARACTERIZACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

## a. Ubicación

La cuenca del río Goascorán se encuentra ubicada dentro de la región hidrográfica "J" o región hidrográfica del río Goascorán, la cual está comprendida por subcuencas que drenan hacia el cauce principal del Río. La cuenca del Río Goascorán está incluida en los municipios de Lilisque, Nueva Esparta, Anamoros, El Sauce, Santa Rosa de Lima, Pasaquina, Concepción de Oriente y Póloros; los cuales pertenecen al departamento de La Unión.

El río Goascorán nace en Honduras, en los municipios de Comayagua, a una elevación de 2,231 m.s.n.m. hasta desembocar en el Golfo de Fonseca. De igual manera, el Río Goascorán divide a El Salvador con Honduras en gran parte de su recorrido.

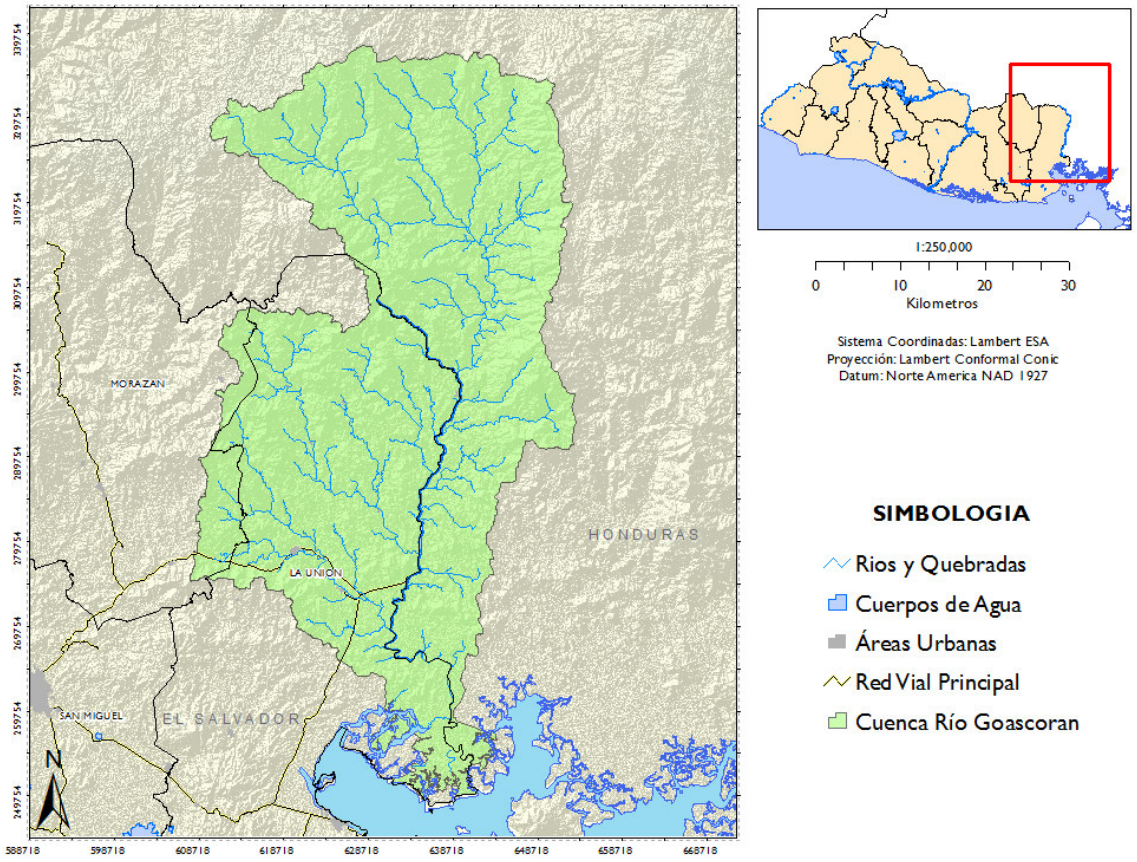


*Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río Goascorán*

## b. Geología

De acuerdo a la geología dentro del río San Simón: el 93.43% del área total de la cuenca se encuentra con una formación geológica San Salvador, el cual es una formación reciente y que pertenece al cuaternario. Asimismo está formada por piroclásticos ácidos, con intercalaciones de lavas básicas (basálticas – andesíticas), tobas color café y materiales aluvionales.

El 6.57% restante de la formación geológica en la cuenca San Simón, está conformada por formación Bálsamo. El cual es una formación muy antigua, perteneciente al pliocénico y que está formado por aglomerados, lavas básicas e intermedias con intercalación de fanglomerados y límolitas. Estos suelos se han desarrollado en suelos rojo arcillosos. (Gobierno de la Republica de El Salvador - Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo, 1981)

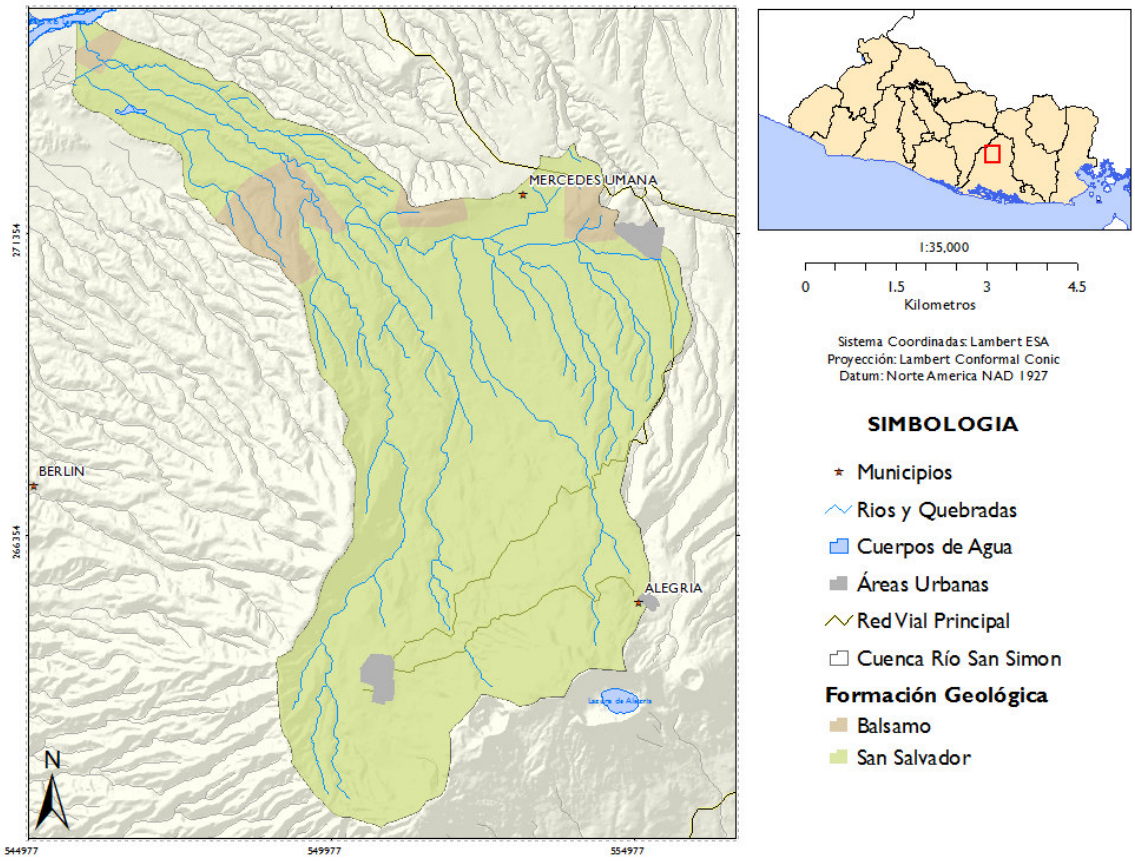


*Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río San Simón*

## c. Hidrografía

La red hídrica que contiene a la cuenca San Simón nace en el municipio de Berlín y desemboca en el río Lempa, lo cual lo convierte en un tipo de cuenca endorreica. 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.

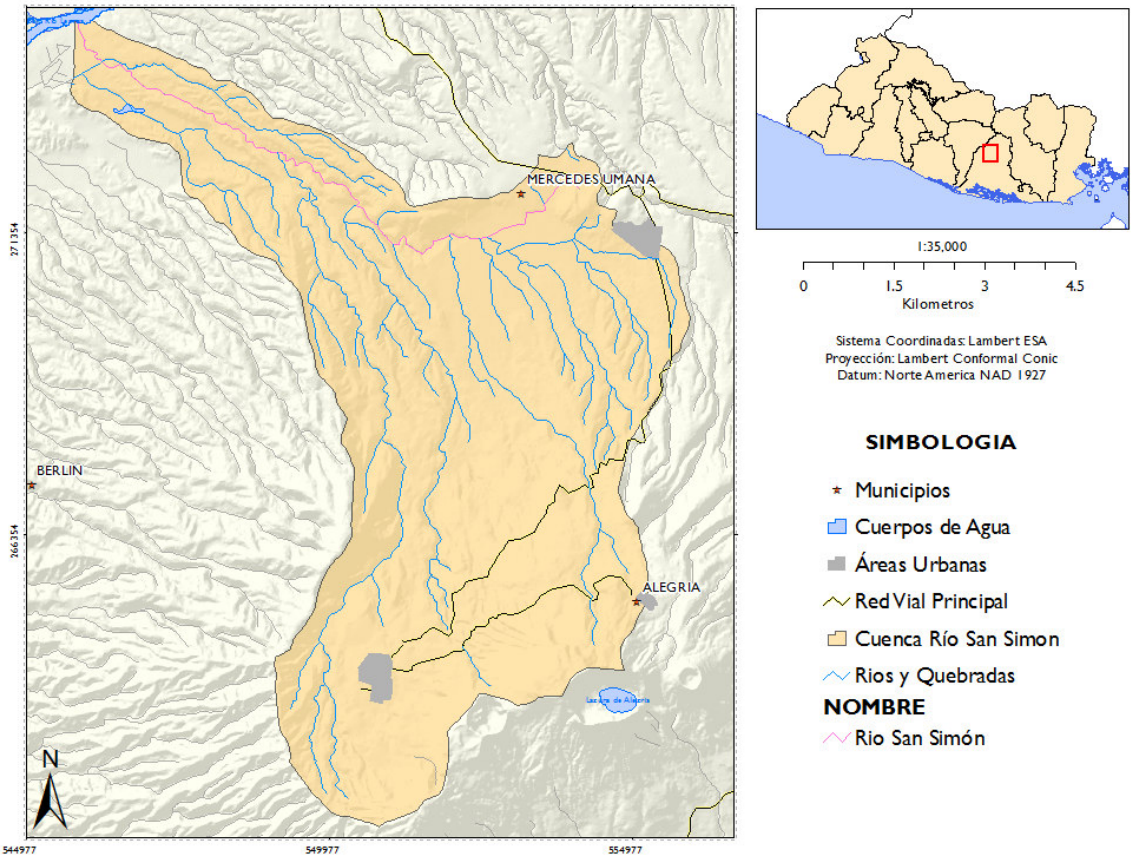


*Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río San Simón*

## d. Clima

La cuenca en estudio se divide en tres 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.

- 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.

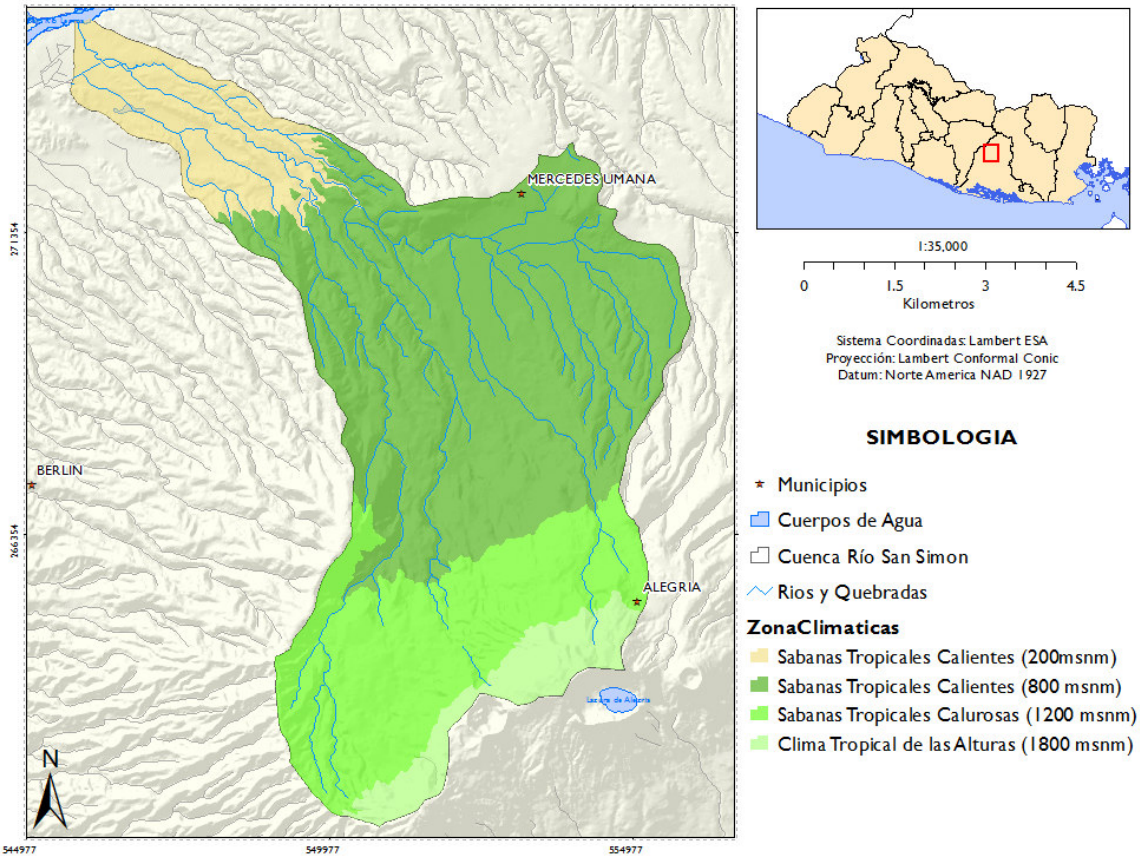


*Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río San Simón*

## e. Precipitación

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

entre un máximo anual de 1,954 mm, un mínimo anual de 1,519 mm y un promedio anual de 1,726 milímetros de precipitación.

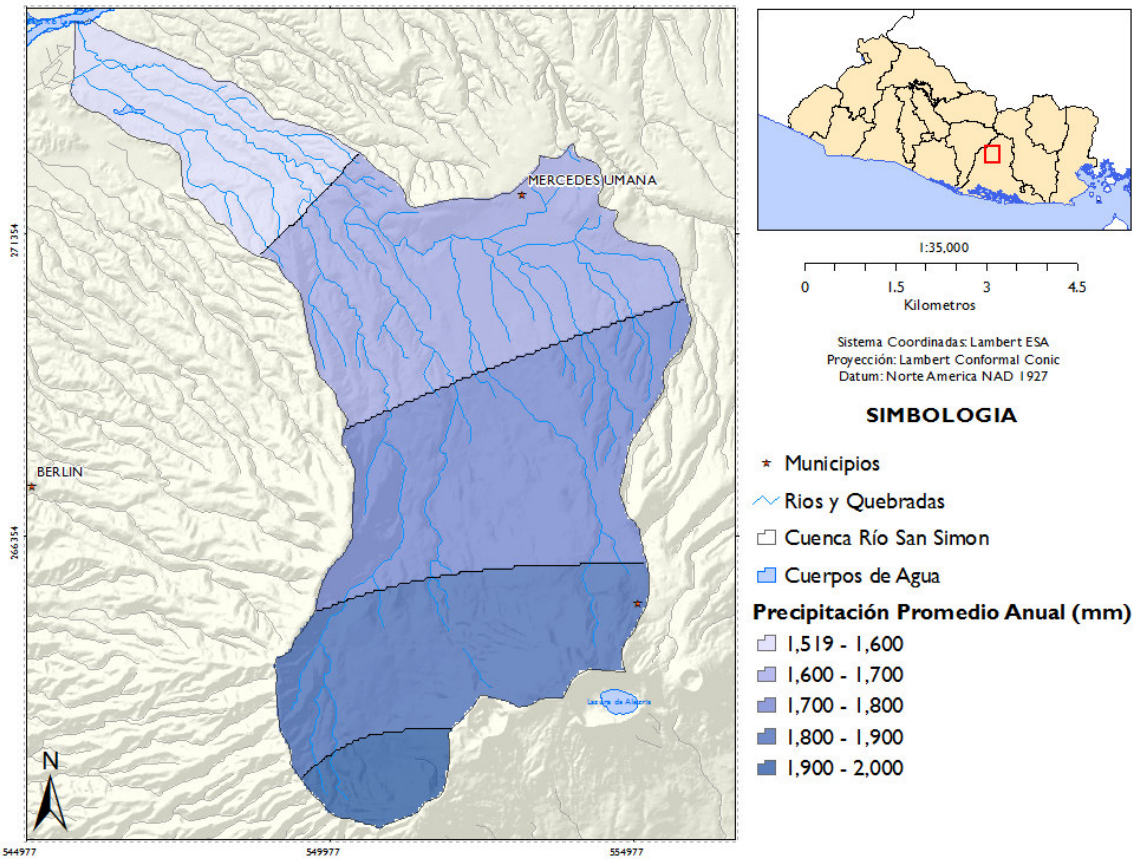


*Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001)*

## 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 1,732 mm, así como un valor máximo de evapotranspiración potencial de 1,892 mm y 1,600 mm como valor mínimo.

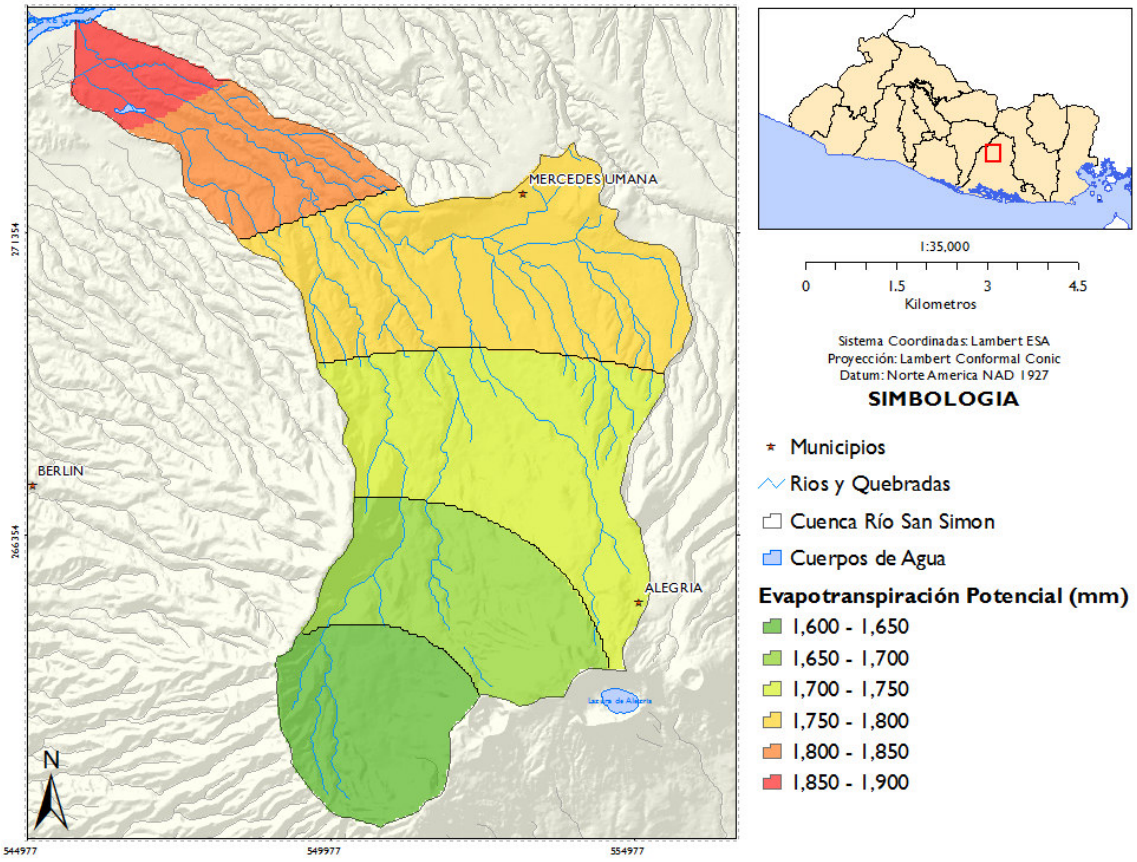


*Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001)*

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 58.28% está siendo ocupado por zonas de cultivos o mezclas de sistemas productivos. Asimismo, el 40.47% de la cuenca está siendo ocupado por zonas de cultivos permanentes, los cuales en su mayoría son cafetales, localizados en las zonas altas.

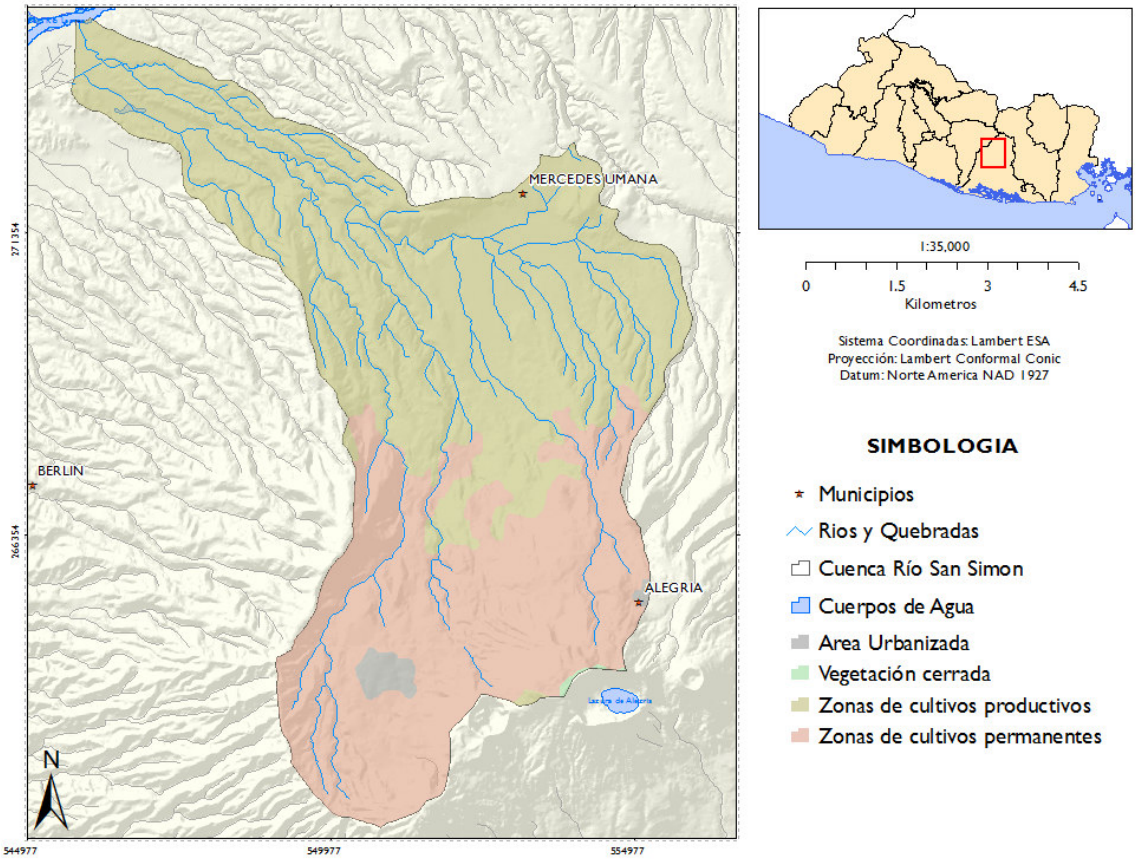


*Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca San Simón*

## 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 San Simón es de 58.46 $km^2$ y con un perímetro de 54.30 km.

## j. Tipo de Suelos

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

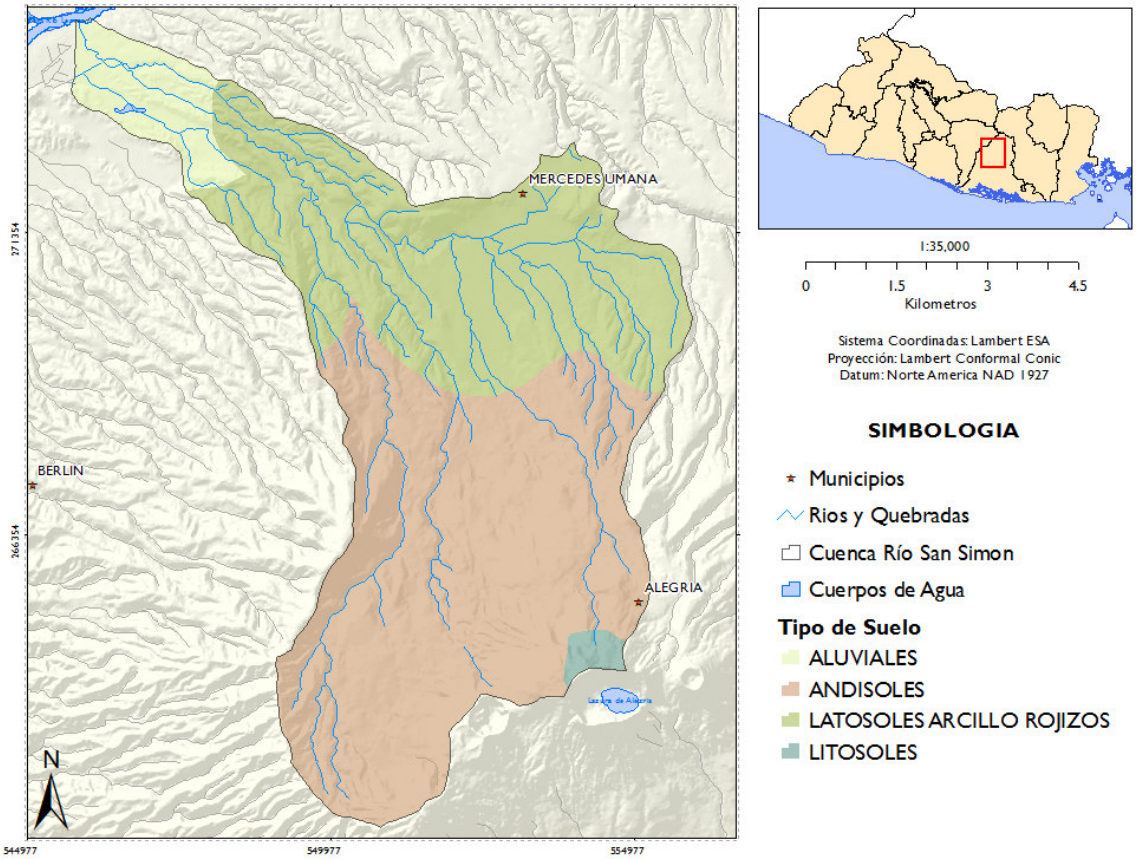


*Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca San Simón*

- 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.

- Litosoles

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

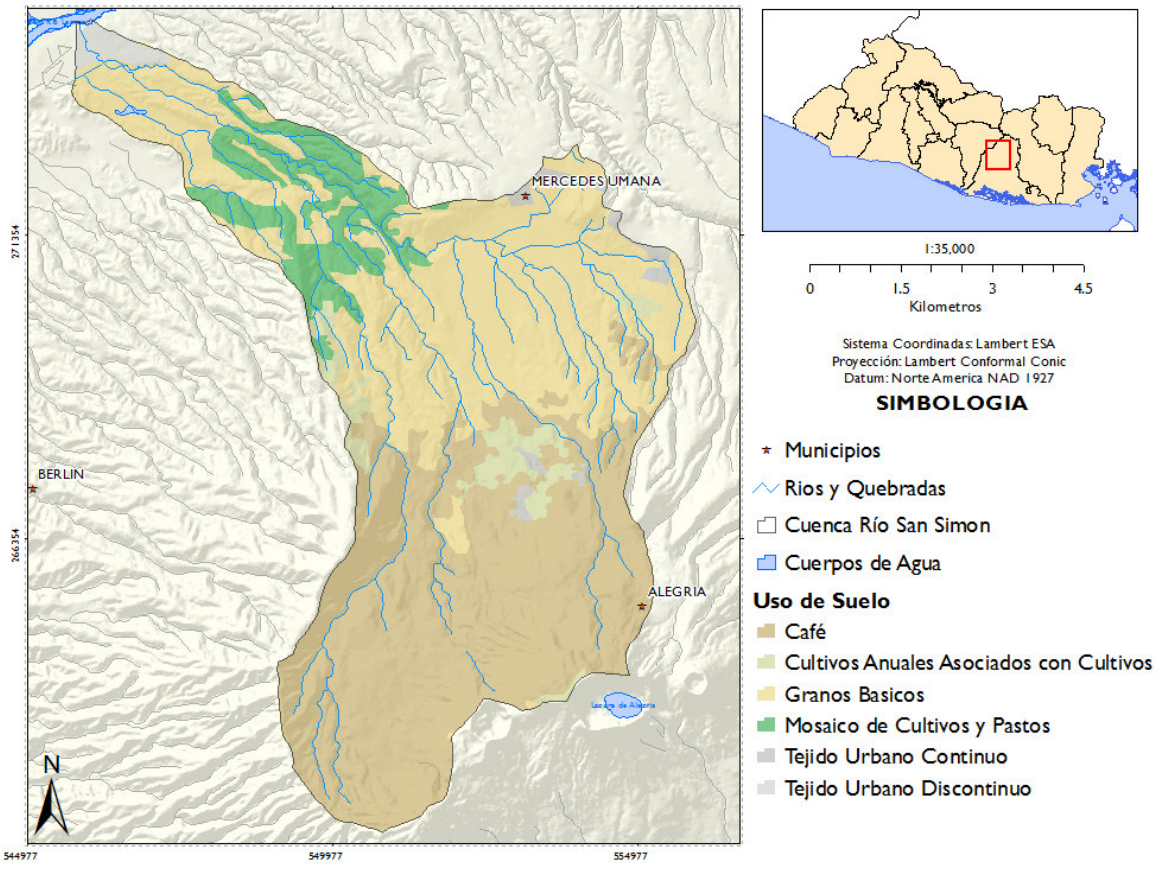


*Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003*

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 café, 40% corresponde a cultivos de granos básicos. El resto del área de la cuenca se divide entre cultivos permanentes y otros.

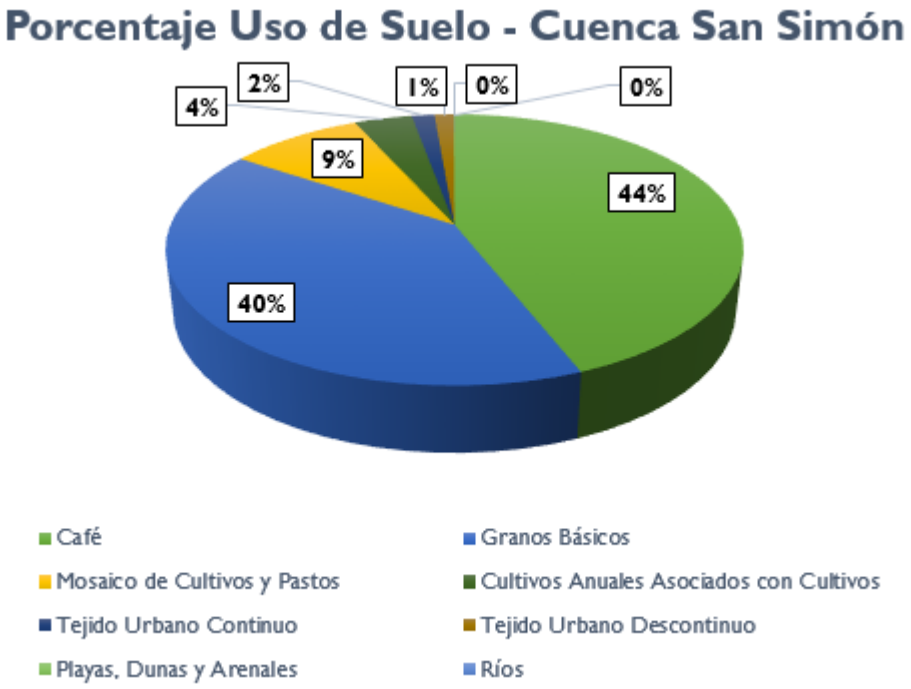


*Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca San Simón*

## 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.

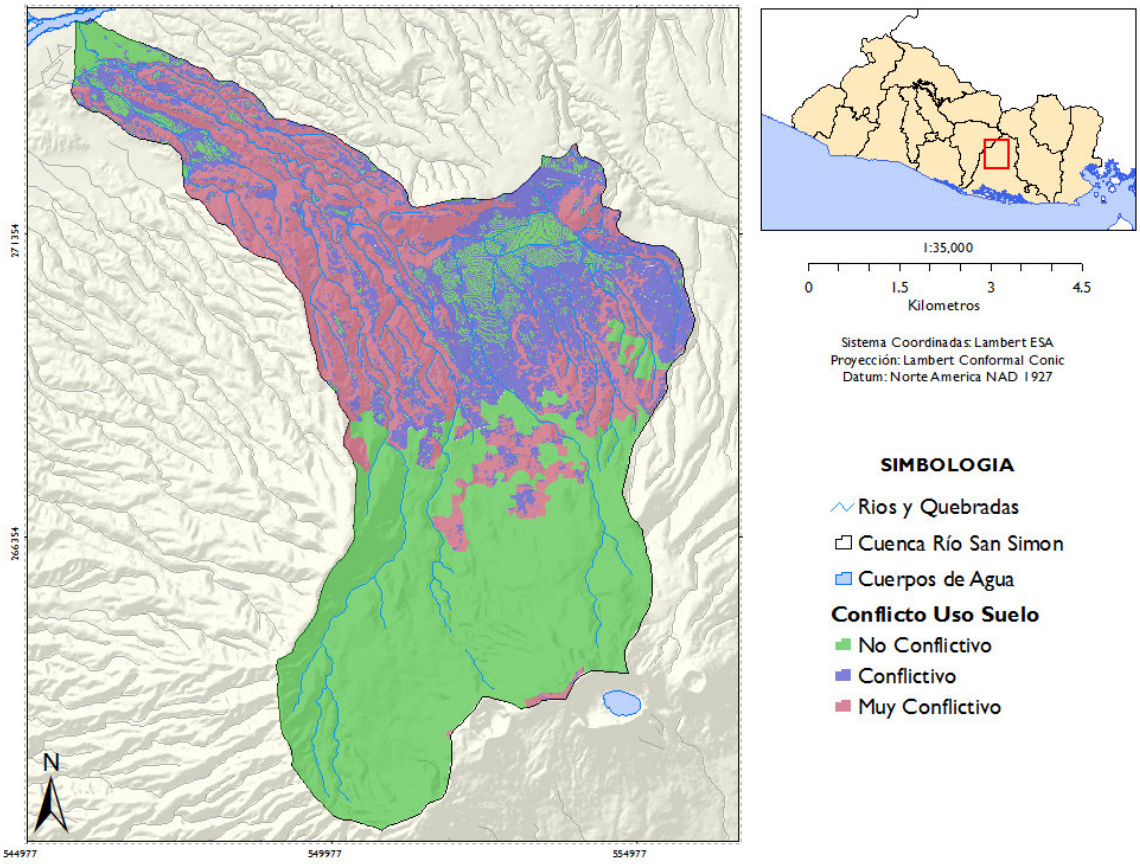


*Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río San Simón*

## 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 Río Apancoyo usando el método de Strahler, el cual es de 5

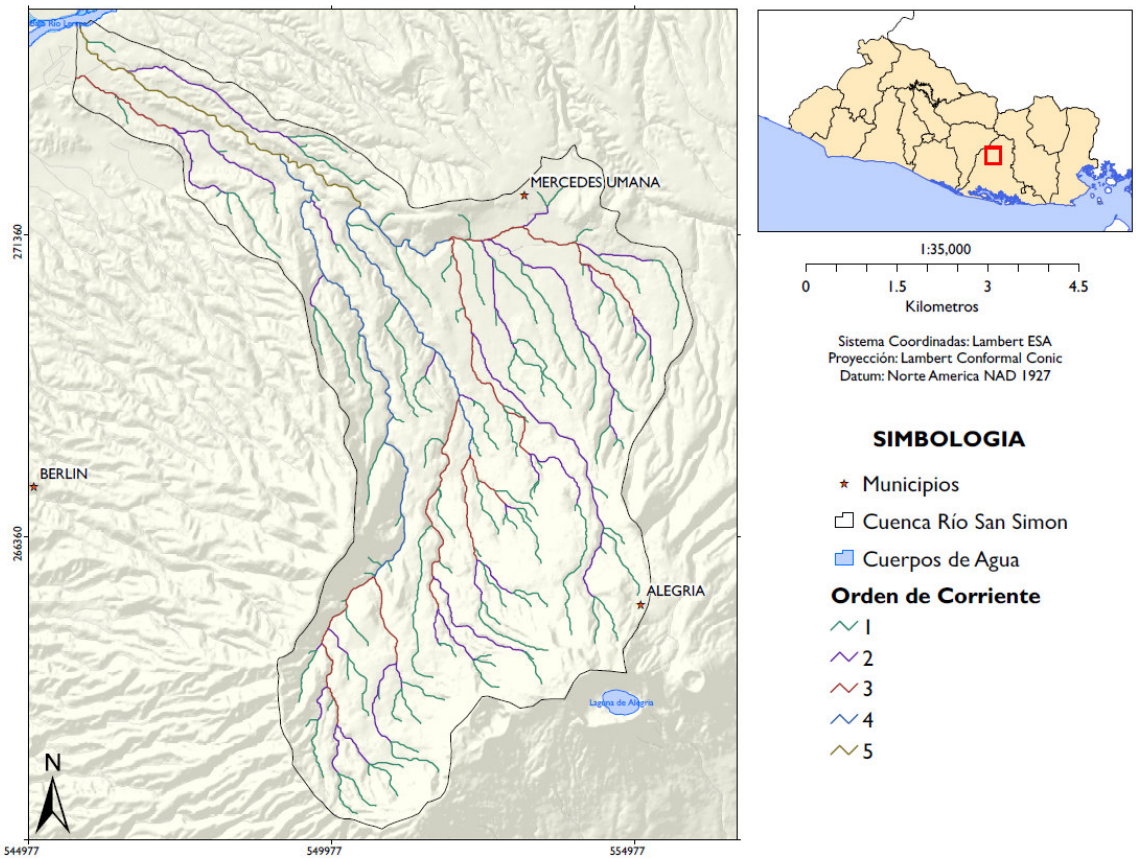


*Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca San Simón*

## 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$^2$, "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/km$^2$ corresponde a una cuenca pobremente drenada mientras que los valores de 3.5 km/km$^2$ 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 | Área ($km^2$) | Longitud (km) | Densidad Drenaje ($km/km^2$) |
|---|---|---|---|
| San Simón | 58.46 | 108.00 | 1.85 |

*Tabla 1: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río San Simón*

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 | Área ($km^2$) | Longitud (km) | Factor de Forma "$K_f$" |
|---|---|---|---|
| San Simón | 58.46 | 19.69 | 0.15 |

*Tabla 2: Valor del factor de forma "Kf" en la cuenca Río San Simón*

- Índice de Gravelius

Coeficiente propuesto por Gravelius y que compara la forma de una cuenca a la de una circunferencia, cuyo circulo 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 ($km^2$) | Perímetro (km) | Índice de Gravelius "$K_c$" |
|---|---|---|---|
| San Simón | 58.46 | 54.30 | 2.00 |

p. Pendiente media de la cuenca

Es unos 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 San Simón es de 12.55% 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 confluencia con el Río Lempa.

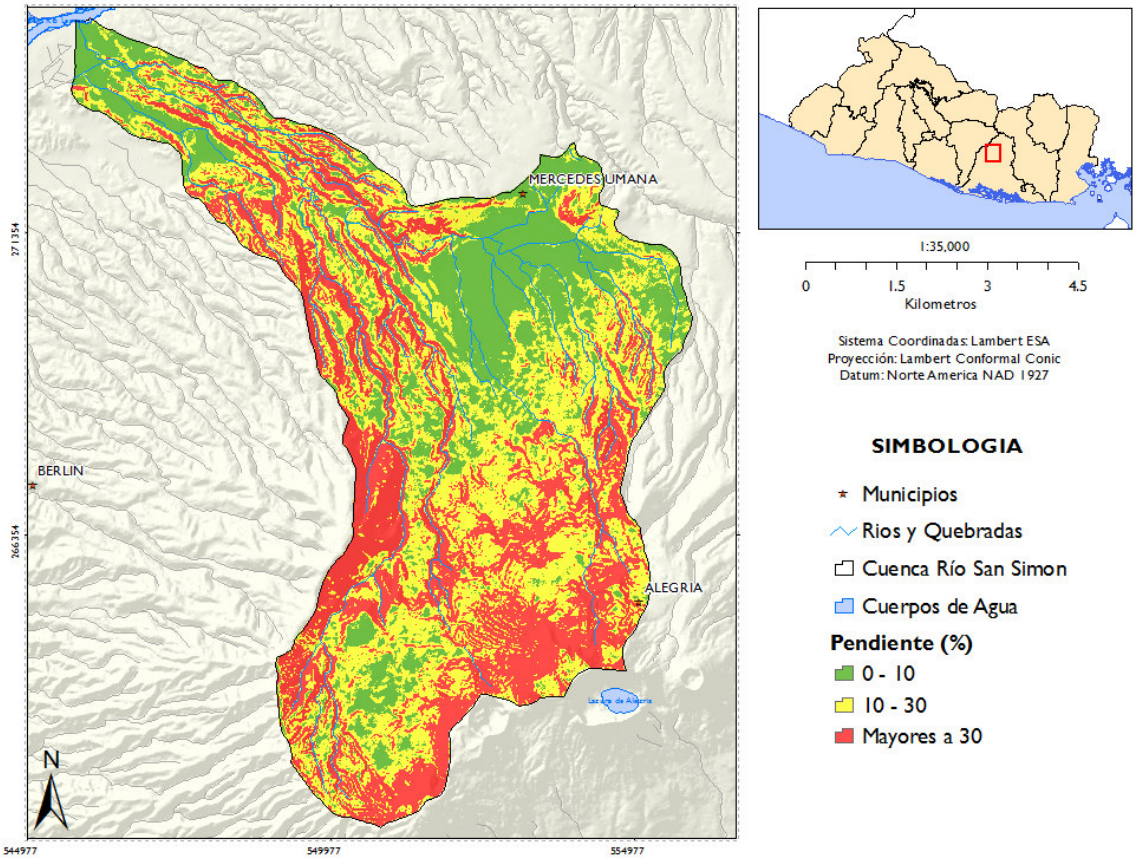


*Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río San Simón*

## 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 San Simón es de 6.36%, dicho valor se ve disminuido en la zona de confluencia con el río Lempa con una pendiente menor al 2%. 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%)

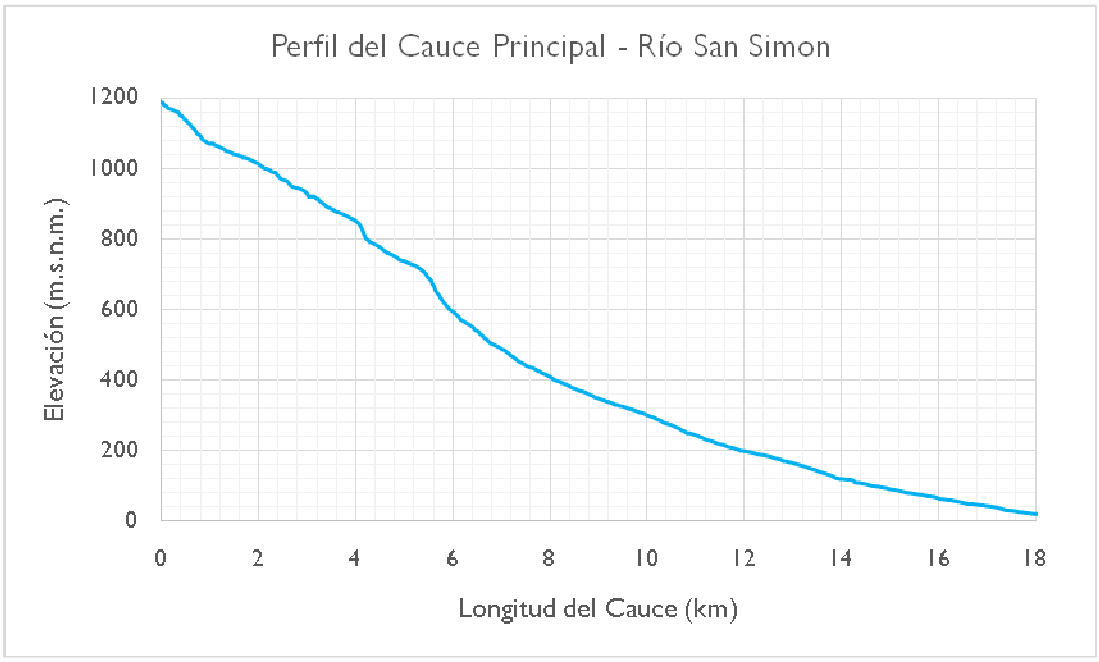


*Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río San Simón*

r. Curva Hipsométrica.

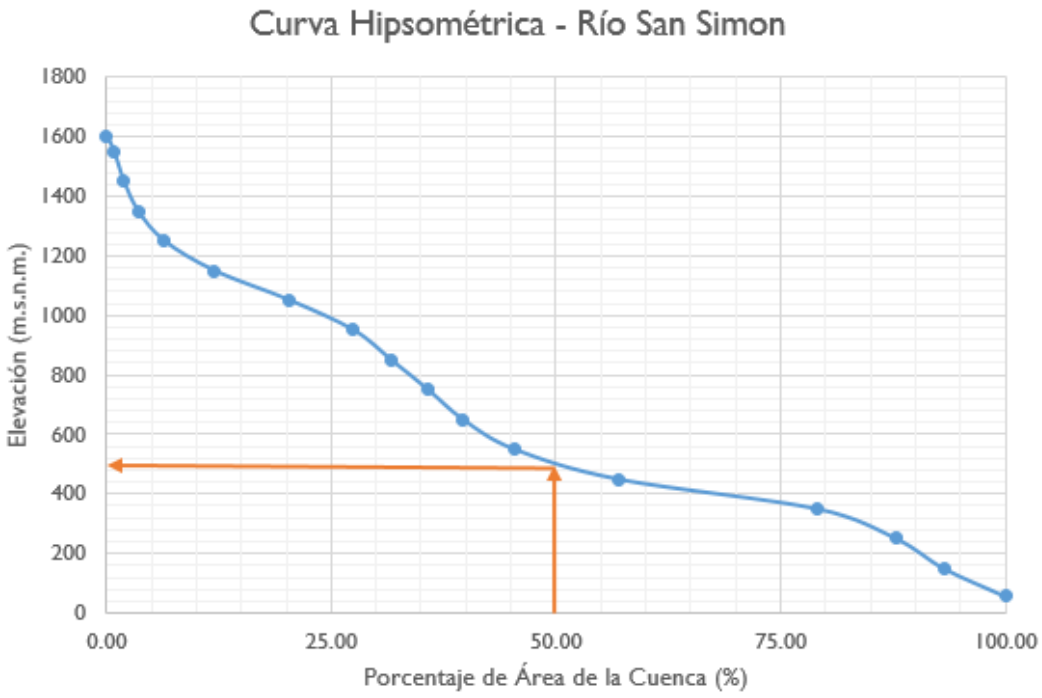


*Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río San Simón*

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 San Simón, la curva hipsométrica refleja una edad del río entre equilibrio y sedimentaria con una altura mediana de la cuenca de 500 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.

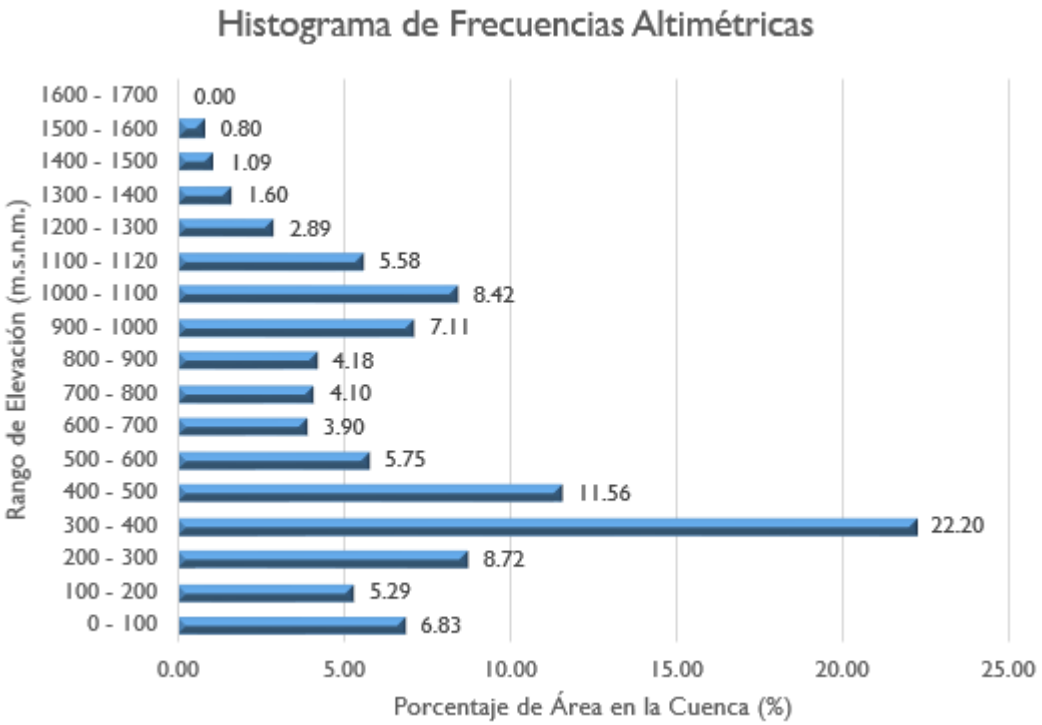


*Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río San Simón*

| VARIABLE | PARAMETRO | VALOR |
|---|---|---|
| Parámetros de Forma | Área ($km^2$) | 58.46 |
| | Perímetro (km) | 54.30 |
| | Índice de Gravelius ($K_c$) | 2.00 |
| | Factor de Forma ($K_f$) | 0.15 |
| | Cota máxima (msnm) | 1,604 |
| Parámetros de Relieve | Cota mínima (msnm) | 15 |
| | Desnivel altitudinal (msnm) | 1,589 |
| | Pendiente Media (%) | 12.55 |
| | Altura más frecuente (msnm) | 300 – 400 |
| | Altura Mediana | 500 |
| | Longitud de cauce principal (km) | 19.69 |
| | Longitud de cauce en la cuenca (km) | 108 |
| Parámetros de cauce principal | Densidad de drenaje | 1.85 |
| | Elevación máxima del cauce (msnm) | 1,187 |
| | Elevación mínima del cauce (msnm) | 15 |
| | Pendiente media del cauce (%) | 6.36 |
| | Orden de cuenca | 5 |

## 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 San Simón.

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.

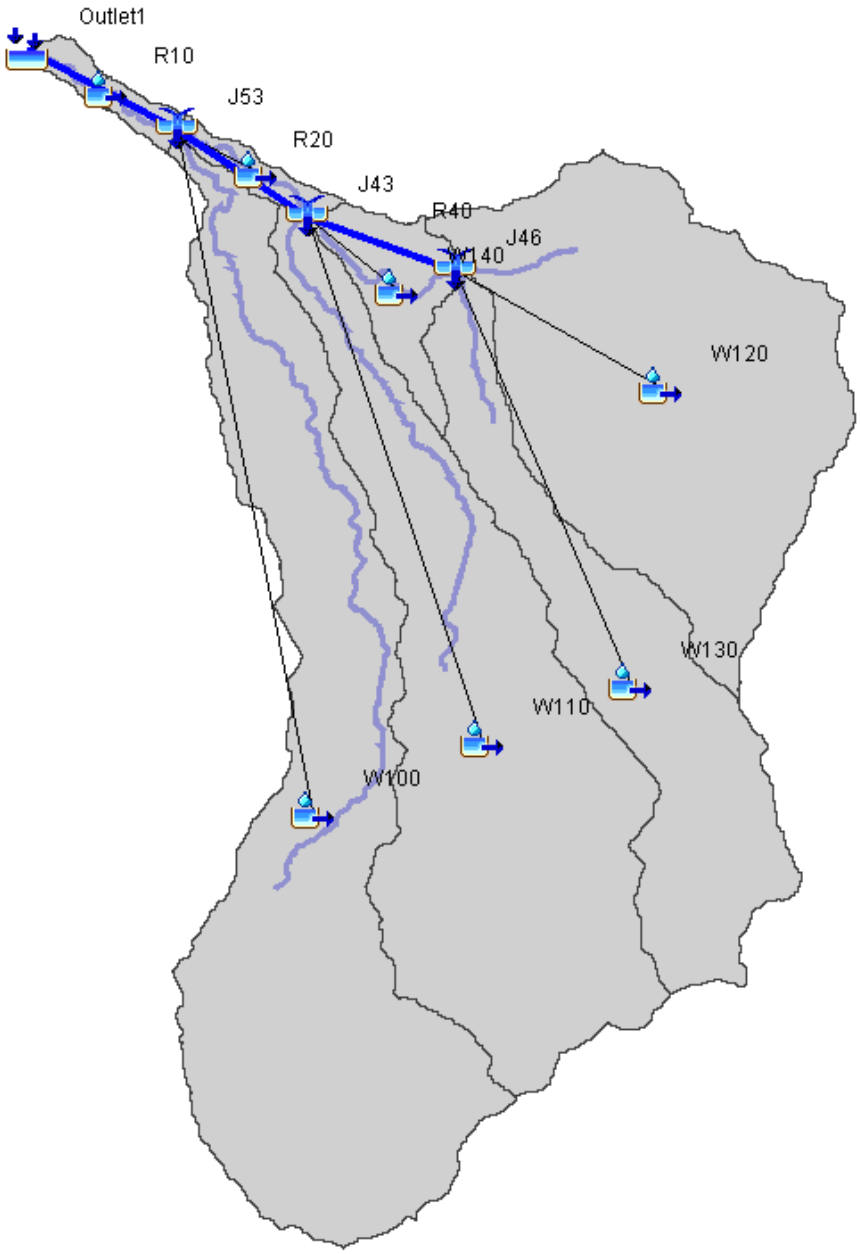


*Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS*

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 ingles) y constante de recesión para el flujo base de la cuenca del Río San Simón.

| Subcuenca | Tiempo de Concentración (Min) | Número de Curva (condición antecedente húmedas) |
|---|---|---|
| W80 | 23.85 | 87.73 |
| W90 | 20.02 | 88.11 |
| W100 | 78.30 | 77.90 |
| W110 | 56.37 | 78.56 |
| W120 | 41.46 | 87.76 |
| W130 | 45.72 | 80.09 |
| W140 | 26.48 | 88.72 |

*Tabla 3: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca San Simón*

## 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.

| | W80 | W90 | W100 | W110 | W120 | W130 | W140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 años | 90.71 | 92.92 | 98.62 | 99.38 | 98.55 | 99.73 | 95.37 |
| 5 años | 120.77 | 124.84 | 137.32 | 139.60 | 135.78 | 141.33 | 129.38 |
| 10 años | 140.61 | 145.92 | 162.60 | 165.49 | 160.33 | 167.63 | 151.95 |
| 25 años | 165.57 | 172.66 | 194.39 | 198.23 | 191.42 | 200.99 | 180.46 |
| 50 años | 184.27 | 192.54 | 218.05 | 222.47 | 214.42 | 225.74 | 201.63 |
| 100 años | 202.89 | 212.13 | 241.46 | 246.55 | 237.27 | 250.26 | 222.63 |
| 200 años | 221.37 | 231.75 | 264.89 | 270.56 | 260.01 | 274.71 | 243.62 |
| 300 años | 235.10 | 246.40 | 282.04 | 288.31 | 277.18 | 292.92 | 259.25 |

*Tabla 4: Precipitación Máxima para 1 día y diferentes Periodos de Retorno*

Para la cuenca del Río San Simón 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.

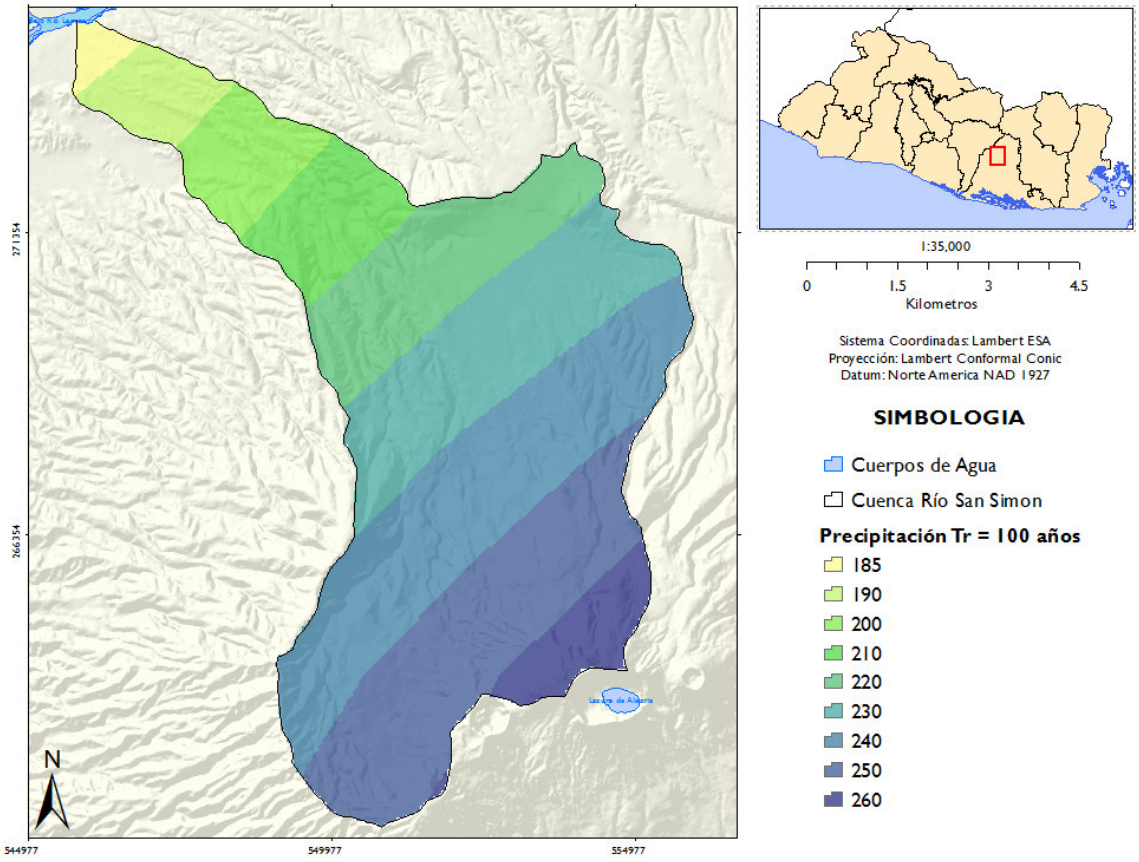


*Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para 1 día y un Periodo de Retorno de 100 años*

Los valores mostrados en la Tabla 4 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.

| | W80 | W90 | W100 | W110 | W120 | W130 | W140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 años | 103.41 | 105.93 | 112.43 | 113.30 | 112.35 | 113.69 | 108.72 |
| 5 años | 137.67 | 142.32 | 156.55 | 159.14 | 154.79 | 161.12 | 147.50 |
| 10 años | 160.30 | 166.35 | 185.37 | 188.66 | 182.78 | 191.10 | 173.23 |
| 25 años | 188.75 | 196.84 | 221.61 | 225.98 | 218.21 | 229.13 | 205.72 |
| 50 años | 210.07 | 219.50 | 248.57 | 253.62 | 244.44 | 257.34 | 229.86 |
| 100 años | 231.29 | 241.83 | 275.27 | 281.06 | 270.49 | 285.30 | 253.80 |
| 200 años | 252.36 | 264.19 | 301.97 | 308.44 | 296.42 | 313.17 | 277.73 |
| 300 años | 268.01 | 280.89 | 321.52 | 328.67 | 315.99 | 333.93 | 295.54 |

*Tabla 5: 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.

| | W80 | W90 | W100 | W110 | W120 | W130 | W140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 años | 53.77 | 55.08 | 58.46 | 58.91 | 58.42 | 59.12 | 56.53 |
| 5 años | 71.59 | 74.01 | 81.41 | 82.75 | 80.49 | 83.78 | 76.70 |
| 10 años | 83.36 | 86.50 | 96.39 | 98.10 | 95.05 | 99.37 | 90.08 |
| 25 años | 98.15 | 102.35 | 115.24 | 117.51 | 113.47 | 119.15 | 106.98 |
| 50 años | 109.24 | 114.14 | 129.26 | 131.88 | 127.11 | 133.82 | 119.53 |
| 100 años | 120.27 | 125.75 | 143.14 | 146.15 | 140.65 | 148.36 | 131.98 |
| 200 años | 131.23 | 137.38 | 157.03 | 160.39 | 154.14 | 162.85 | 144.42 |
| 300 años | 139.37 | 146.06 | 167.19 | 170.91 | 164.31 | 173.64 | 153.68 |

*Tabla 6: Precipitación Máxima para una duración de 2 horas*

Posteriormente se reducirá los valores de la Tabla 6 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).

| | W80 | W90 | W100 | W110 | W120 | W130 | W140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 años | 53.77 | 55.08 | 54.22 | 54.50 | 54.04 | 59.12 | 56.53 |
| 5 años | 71.59 | 74.01 | 75.50 | 76.55 | 74.45 | 83.78 | 76.70 |
| 10 años | 83.36 | 86.50 | 89.40 | 90.75 | 87.92 | 99.37 | 90.08 |
| 25 años | 98.15 | 102.35 | 106.88 | 108.70 | 104.96 | 119.15 | 106.98 |
| 50 años | 109.24 | 114.14 | 119.89 | 121.99 | 117.57 | 133.82 | 119.53 |
| 100 años | 120.27 | 125.75 | 132.76 | 135.19 | 130.11 | 148.36 | 131.98 |
| 200 años | 131.23 | 137.38 | 145.64 | 148.36 | 142.58 | 162.85 | 144.42 |
| 300 años | 139.37 | 146.06 | 155.07 | 158.09 | 151.99 | 173.64 | 153.68 |

*Tabla 7: 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 W110 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2años | 5años | 10años | 25años | 50años | 100años | 200años | 300años |
| **00:15** | 8.26 | 11.60 | 13.75 | 16.47 | 18.48 | 20.48 | 22.48 | 23.95 |
| **00:30** | 23.45 | 32.94 | 39.05 | 46.77 | 52.49 | 58.17 | 63.84 | 68.03 |
| **00:45** | 10.90 | 15.31 | 18.15 | 21.74 | 24.40 | 27.04 | 29.67 | 31.62 |
| **01:00** | 4.95 | 6.96 | 8.25 | 9.88 | 11.09 | 12.29 | 13.49 | 14.37 |
| **01:15** | 3.30 | 4.64 | 5.50 | 6.59 | 7.39 | 8.19 | 8.99 | 9.58 |
| **01:30** | 1.65 | 2.32 | 2.75 | 3.29 | 3.70 | 4.10 | 4.50 | 4.79 |
| **01:45** | 0.99 | 1.39 | 1.65 | 1.98 | 2.22 | 2.46 | 2.70 | 2.87 |
| **02:00** | 0.99 | 1.39 | 1.65 | 1.98 | 2.22 | 2.46 | 2.70 | 2.87 |

*Tabla 8: Distribución Temporal para la Subcuenca W110 y un Tr = 100 años*

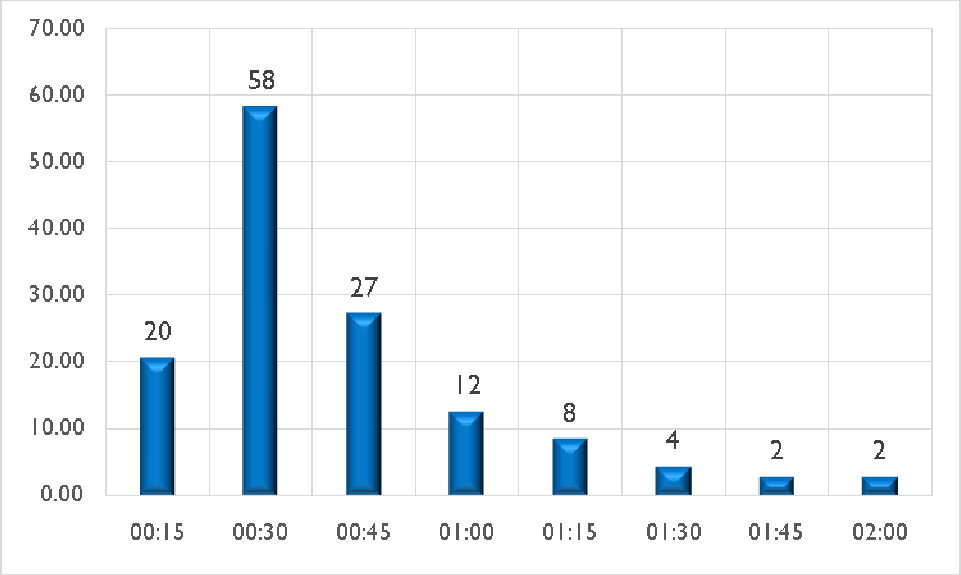


*Figura 20: Hietograma de Diseño para Subcuenca W110 y un Tr = 100 años*

## c. Resultados

Una vez ingresados los distintos hietogramas de diseño en el modelo HEC-HMS, se obtuvieron hidrograma de diseño en la confluencia del Río San Simón y la Quebrada. La Calzadona (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.

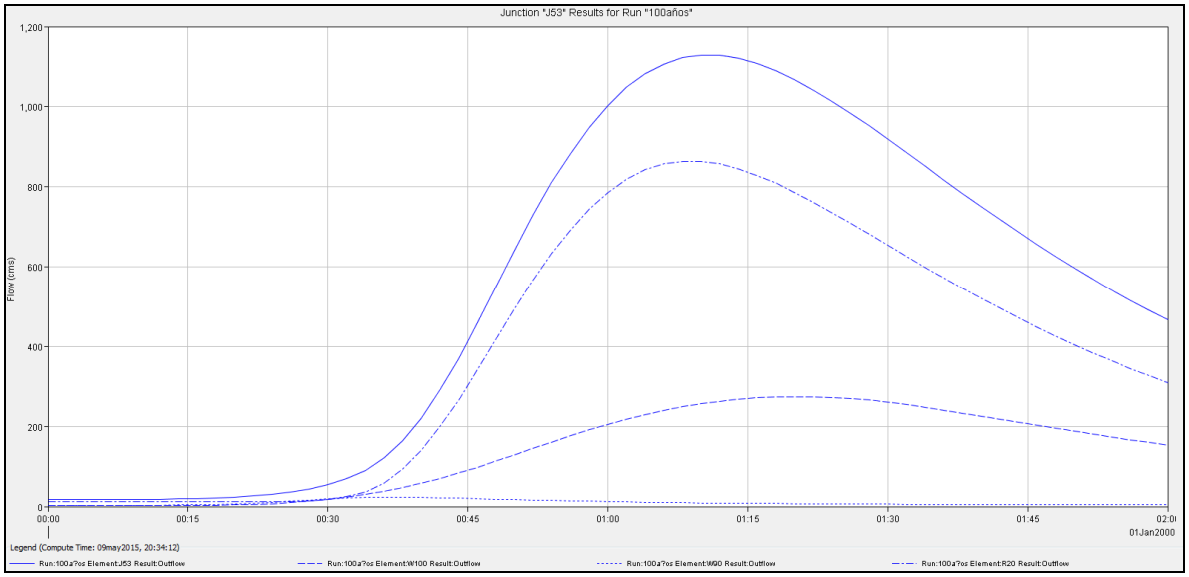


*Figura 21: Hidrograma de diseño en Cantón Los Horcones con un Tr = 100 años*

# 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 en la zona de confluencia entre el Río San Simón y la Quebrada La Calzadona. 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 San Simón, 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  se puede observar una sección transversal aguas debajo de la confluencia entre el Río San Simón y La Calzadona

(Cantón Los Horcones), 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.

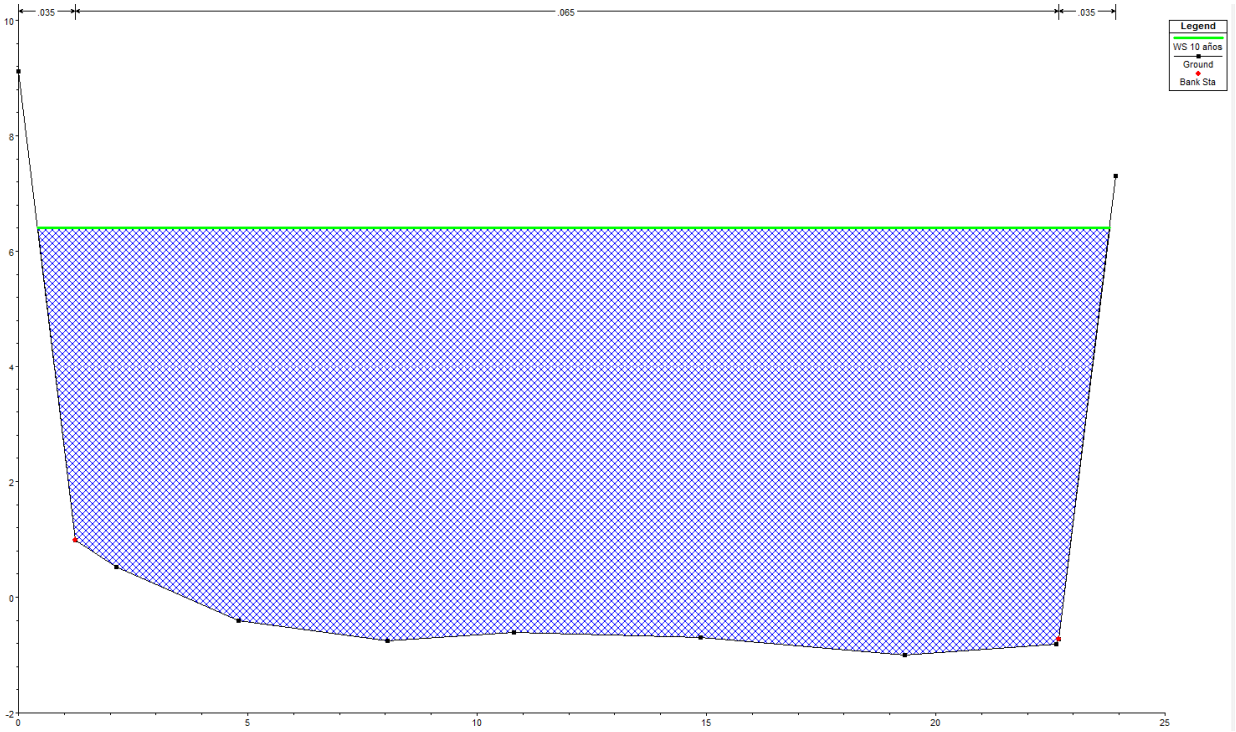


*Figura 22: Sección Transversal en Río San Simón en Cantón Los Horcones con un Periodo Retorno de 10 años*

## GENERACIÓN DE UMBRALES DE RÍO

Para la determinación del umbral del nivel de río en Cantón Los Horcones, 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, específicamente en Cantón La Barca. El lugar seleccionado para instalar la mira, se encuentra aproximadamente a 70 metros aguas abajo de la confluencia, específicamente en Cantón Los Horcones, ya que este sitio permitirá activar los protocolos de acción en toda la cuenca del Río San Simón.

Para el caso del Río San Simón, 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.

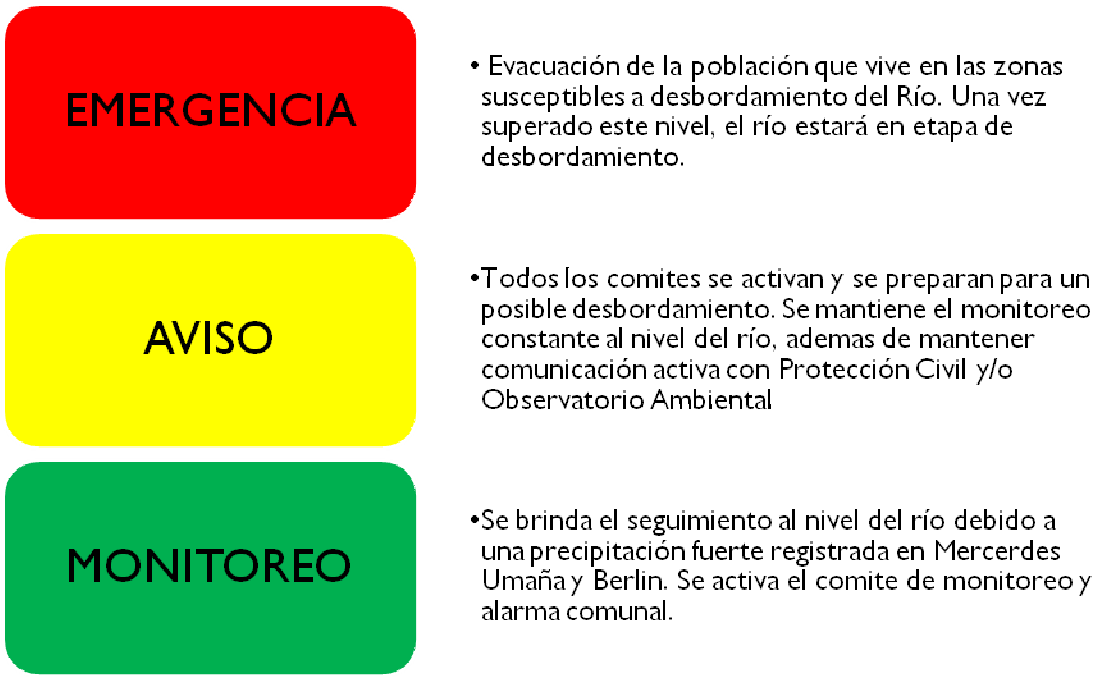


*Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río San Simón*

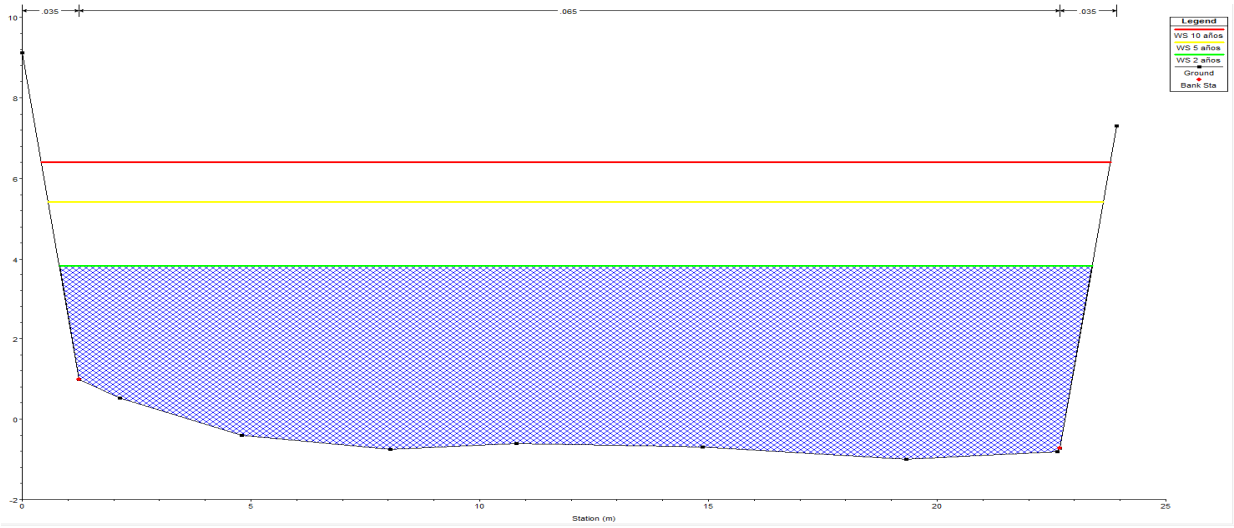


*Figura 24: Umbrales de Nivel de Río en Cantón Los Horcones*

| Lugar Propuesto | Monitoreo | Aviso | Emergencia |
|---|---|---|---|
| **Los Horcones** | 4.82 metros | 6.43 metros | 7.40 metros |

*Tabla 9: Umbrales de Nivel de Río San Simón. Cantón Los Horcones*

# 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 5). 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

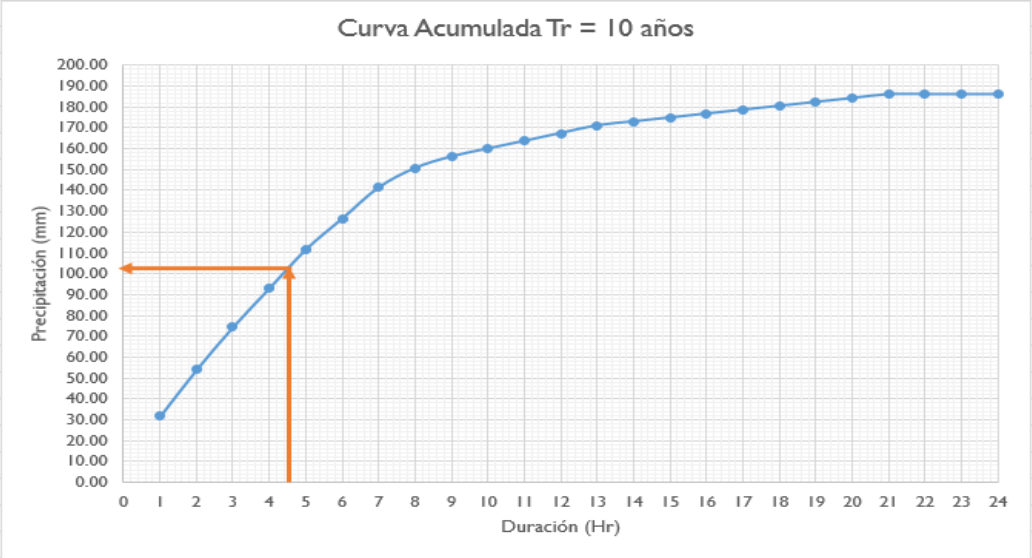


*Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con Tr = 10 años*

Una vez generada la curva de precipitación acumulada, se calculó el tiempo de concentración en el cauce del Río San Simón, hasta el Cantón Los Horcones (4.66 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 10, se muestra los umbrales de precipitación calculados para el Sistema de Alerta Temprana del Río San Simón.

| Duración | Monitoreo | Aviso | Emergencia |
|---|---|---|---|
| 24 horas | 60 mm | 85 mm | 100 mm |

*Tabla 10: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río San Simón*

## 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 La Barca, Hacienda Santa Anita y los delegados de Protección Civil de Estanzuelas, Nueva Granada y Mercedes Umaña.

| NOMBRE | TELEFONO | COMUNIDAD |
|---|---|---|
| María Magdalena Mejía | 7922 9865 | La Barca |
| José Manuel Rivera | 2601 9148 | La Barca |
| Walter Alexander González | 7994 5976 | La Barca |
| Papá de Walter González | 7576 8877 | La Barca |
| Yanci Mabel López | 7595 0087 | Hacienda. Santa Anita |
| Vicente Alberto Alvarado | 7569 5954 | Hacienda. Santa Anita |
| Selvin Antonio Rodríguez | 7372 3384 | Hacienda. Santa Anita |
| Luis Alonso Castro | 7201 0603 | Hacienda. Santa Anita |
| Pedro Antonio Lobo | 7995 9422 | Hacienda. Santa Anita |
| Maira González | 7582 1535 | Los Horcones |
| Dallana González | 7930 2869 | Los Horcones |
| Juan Antonio González | 7856 5900 | Los Horcones |
| Miguel Ángel Gallegos | 6006 0274 | Hacienda. Santa Anita |
| Francisca Cedillos | 7748 8945 | Protección Civil Estanzuelas |
| Wilber Alexander Cruz | 7572 2495 | Protección Civil Nueva Granada |
| Jesús Roberto Iraheta Arias | 7920 1365<br>2629 5001 | Protección Civil Mercedes Umaña |

*Tabla 11: Red de Observadores Locales en Río San Simón*

# 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 2 estaciones telemétricas en la cuenca del Río San Simón, las cuales son Berlín y Berlín Met. Dichas estaciones realizan la transmisión de datos cada 15 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 la Hacienda Santa Anita y el Cantón Los Horcones.

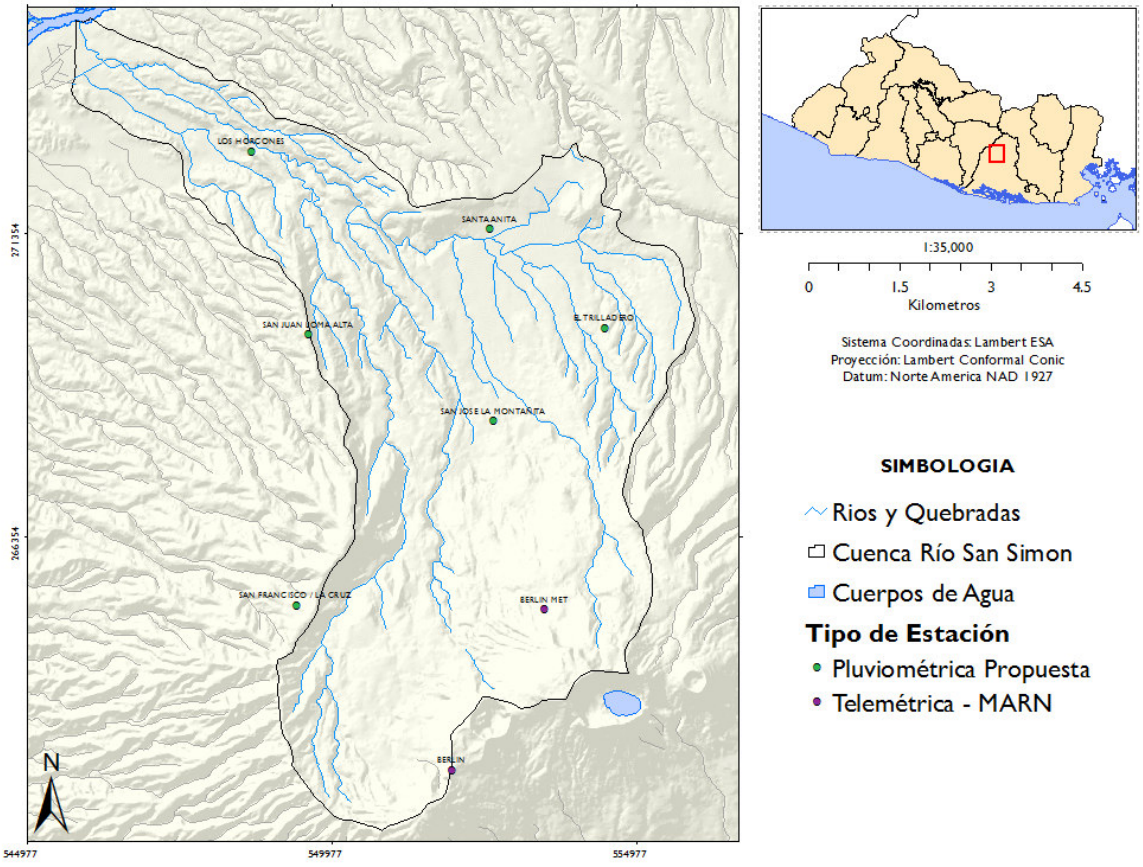


*Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros*

# 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.

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