

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES

Cuenca Río San Simón



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	8
e. Precipitación	10
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.....	23
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.....	34
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 San Simón.....	6
Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río San Simón.....	7
Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río San Simón.....	8
Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río San Simón.....	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 San Simón	12
Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca San Simón.....	13
Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003..	14
Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca San Simón.....	15
Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río San Simón	16
Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca San Simón	17
Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río San Simón.....	20
Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río San Simón	21
Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río San Simón.....	21
Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río San Simón	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 Subcuenca W110 y un Tr = 100 años	28



Figura 21: Hidrograma de diseño en Cantón Los Horcones con un $Tr = 100$ años.....	29
Figura 22: Sección Transversal en Río San Simón en Cantón Los Horcones con un Periodo Retorno de 10 años	30
Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río San Simón.....	31
Figura 24: Umbrales de Nivel de Río en Cantón Los Horcones	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 San Simón.....	18
Tabla 2: Valor del factor de forma “Kf” en la cuenca Río San Simón	18
Tabla 3: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca San Simón	25
Tabla 4: Precipitación Máxima para 1 día y diferentes Periodos de Retorno	25
Tabla 5: Precipitaciones Máximas por Intervalo Fijo de Observación.....	26
Tabla 6: Precipitación Máxima para una duración de 2 horas	27
Tabla 7: Precipitación Máxima por factor de Reducción de Área	27
Tabla 8: Distribución Temporal para la Subcuenca WI 10 y un $Tr = 100$ años	28
Tabla 9: Umbrales de Nivel de Río San Simón. Cantón Los Horcones	31
Tabla 10: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río San Simón	32
Tabla 11: Red de Observadores Locales en Río San Simón.....	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 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.

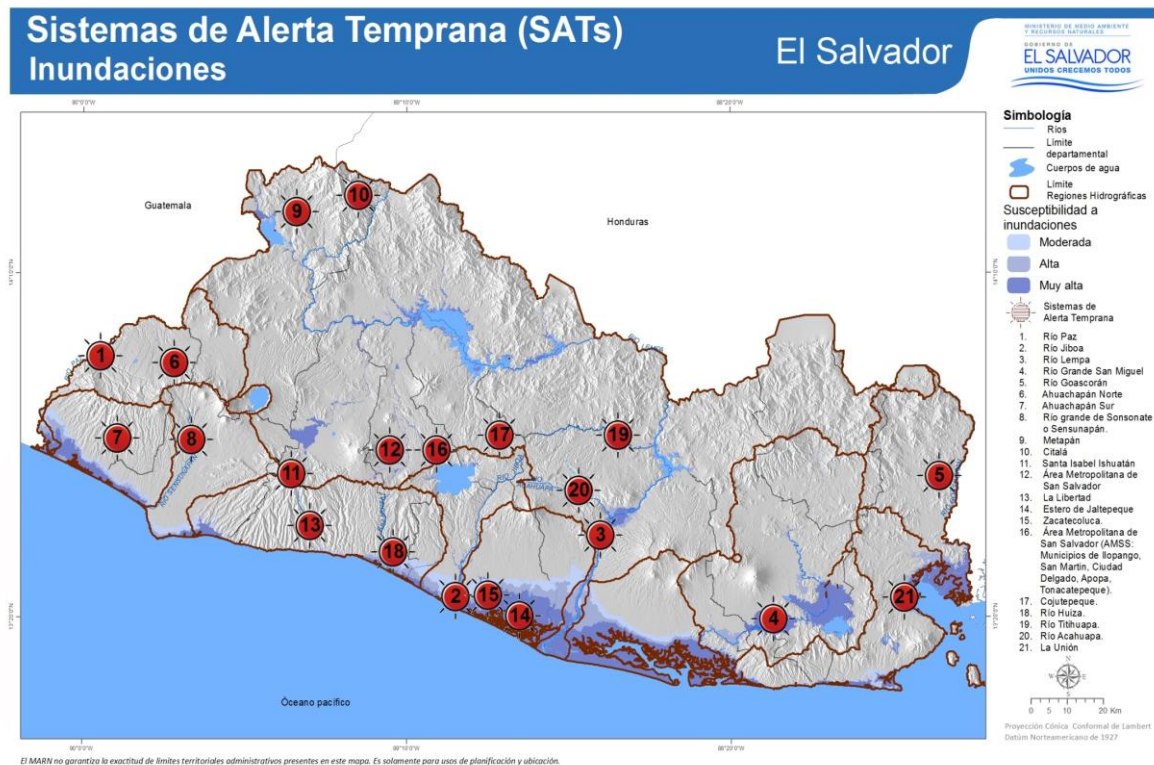


Figura 1: Mapa de Sistemas de Alerta Temprana por Inundación en El Salvador.

CARACTERIZACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

a. Ubicación

La cuenca del río San Simón se encuentra ubicada dentro de la región hidrográfica “A” o región hidrográfica Lempa-Media, la cual está comprendida por cuencas que drenan hacia el cauce principal del Río Lempa. La cuenca del Río San Simón está incluida en los municipios de Mercedes Umaña, Alegría y Berlín; los cuales pertenecen al departamento de Usulután

El río San Simón nace en el municipio de Berlín a una elevación de 1,604 m.s.n.m. y transita por el municipio de Mercedes Umaña hasta desembocar en el río Lempa, aguas abajo de la Presa Hidroeléctrica 15 de septiembre.

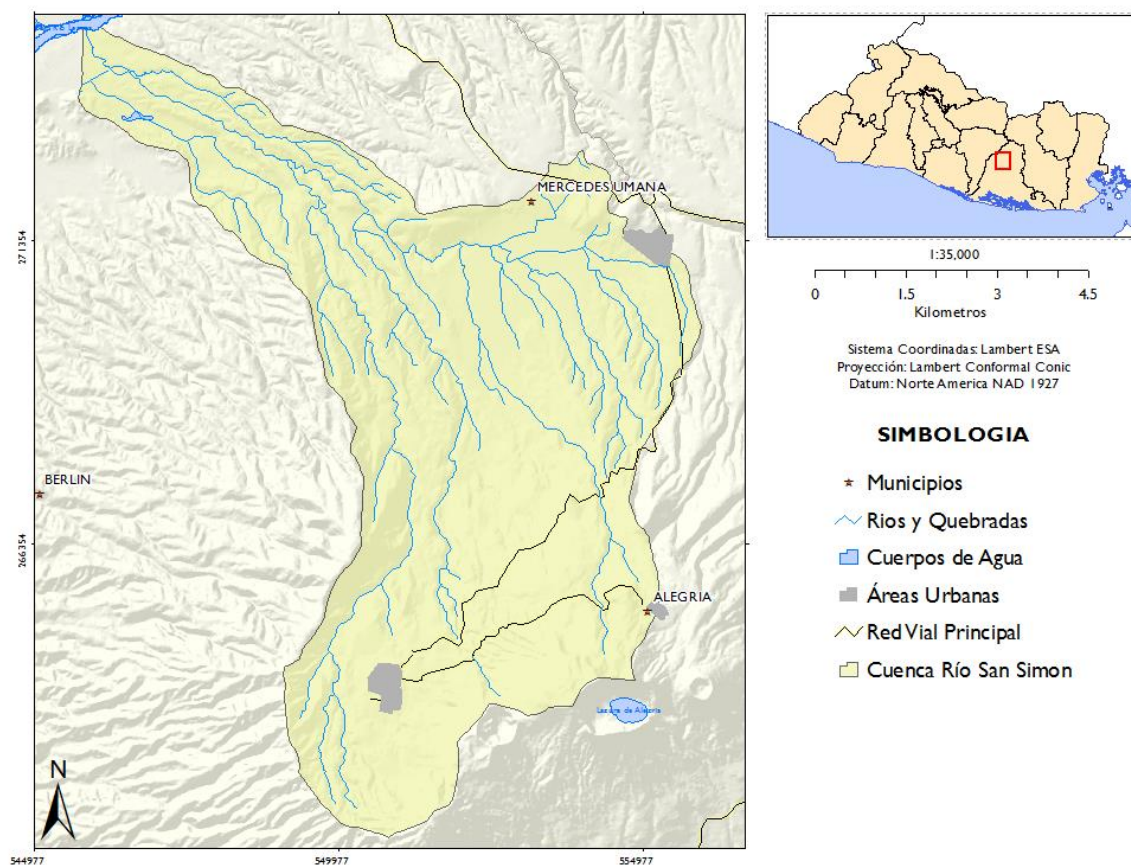


Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río San Simón

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 limolitas. 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)

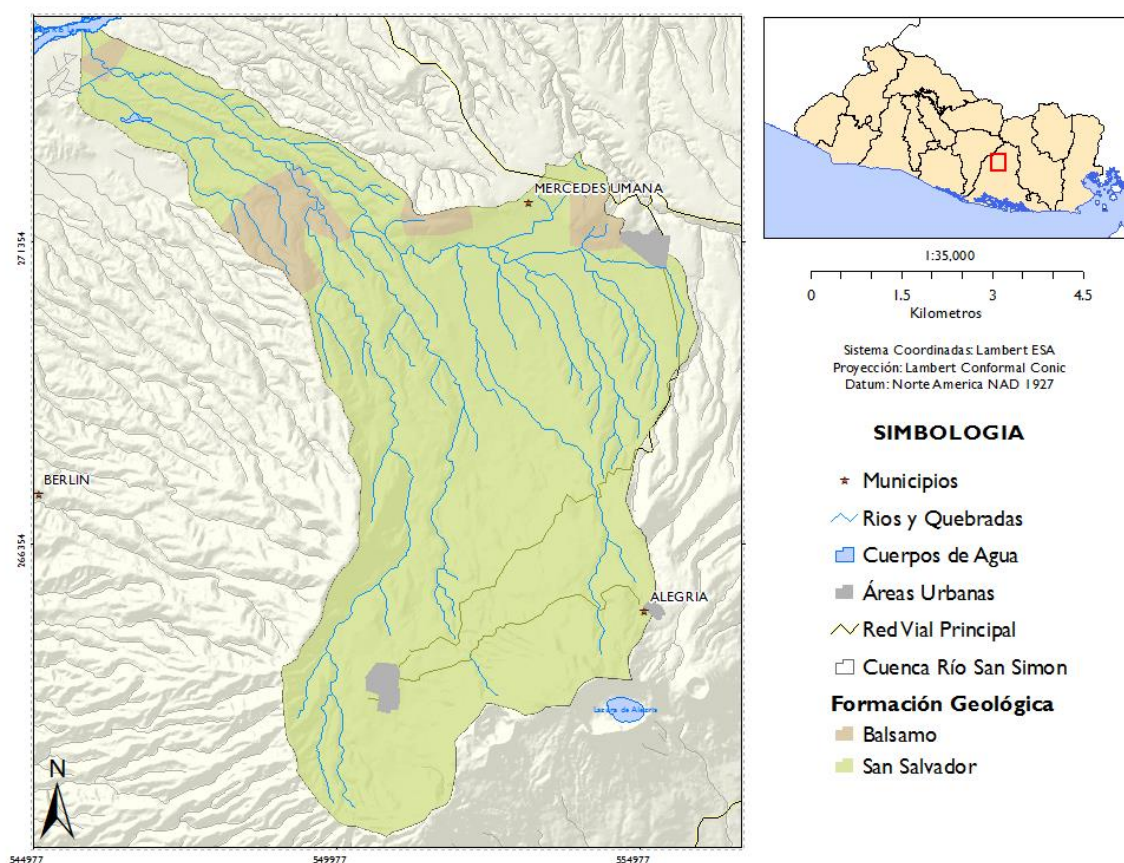


Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río San Simón

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.

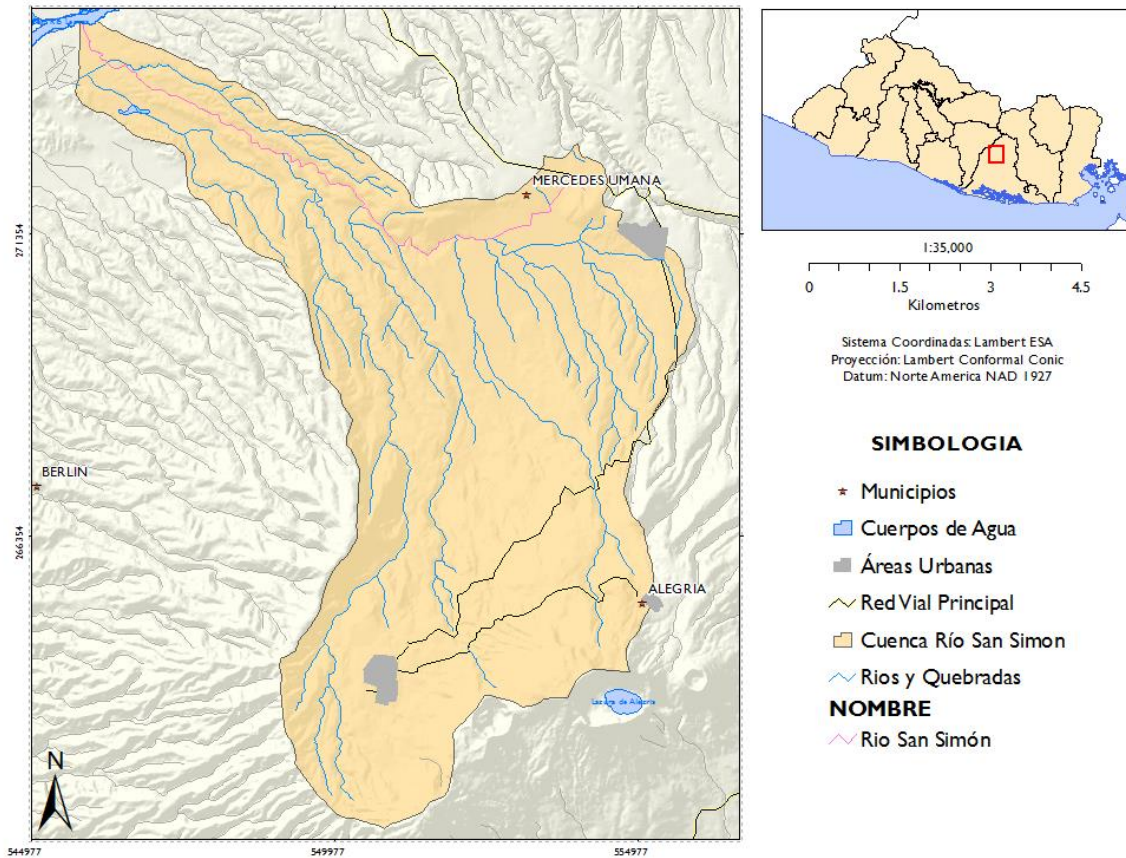


Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río San Simón

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 República 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.

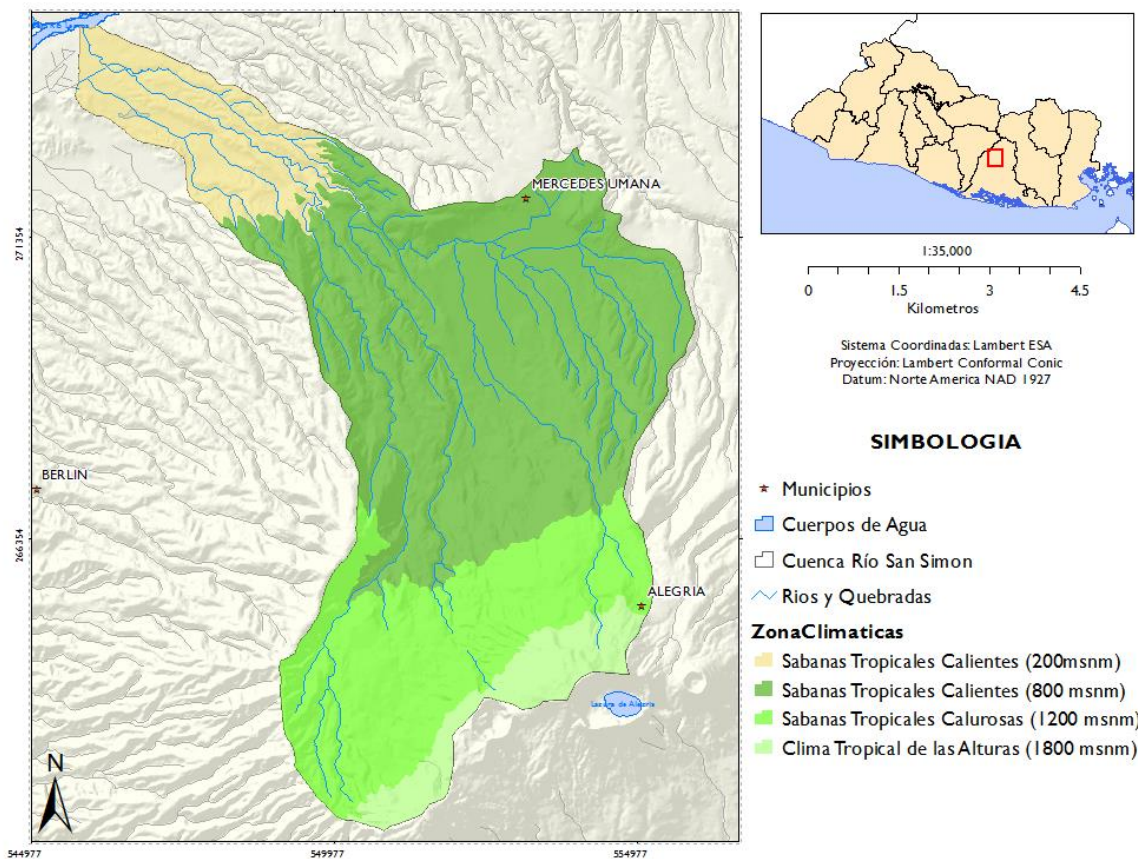


Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río San Simón

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.

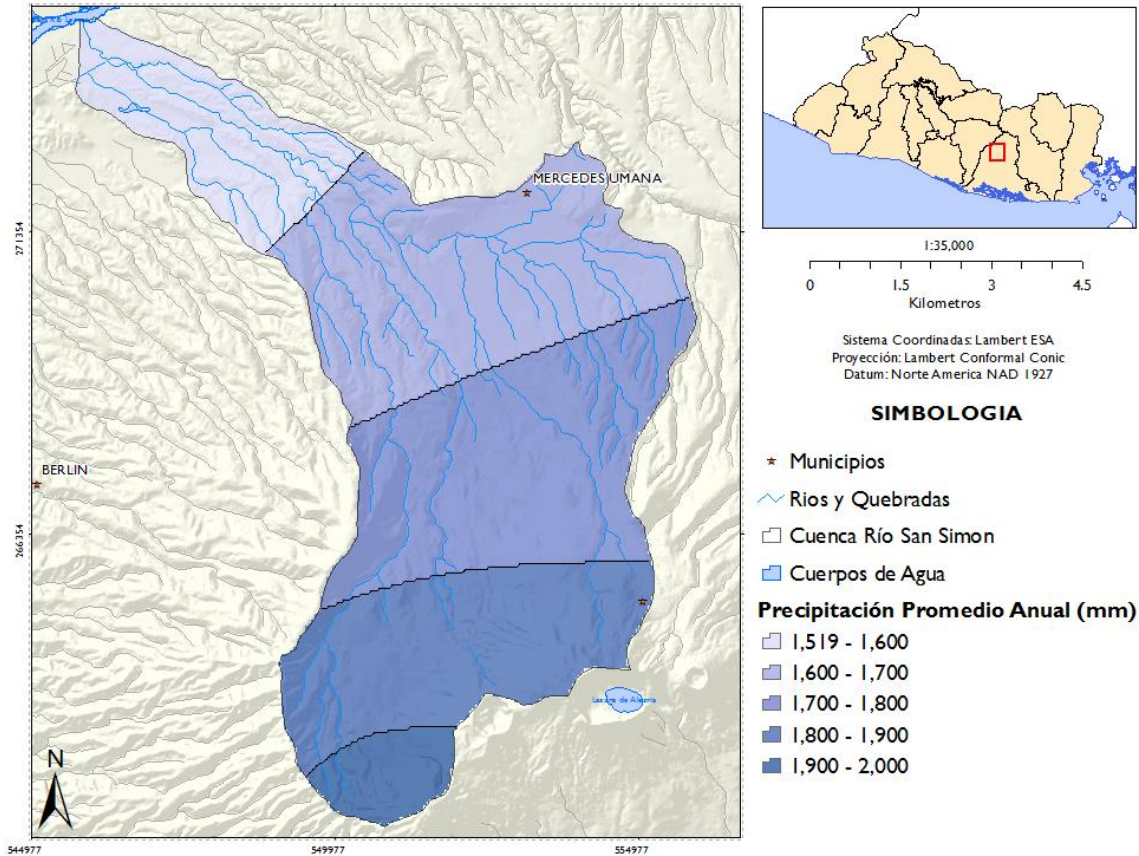


Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001)

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.

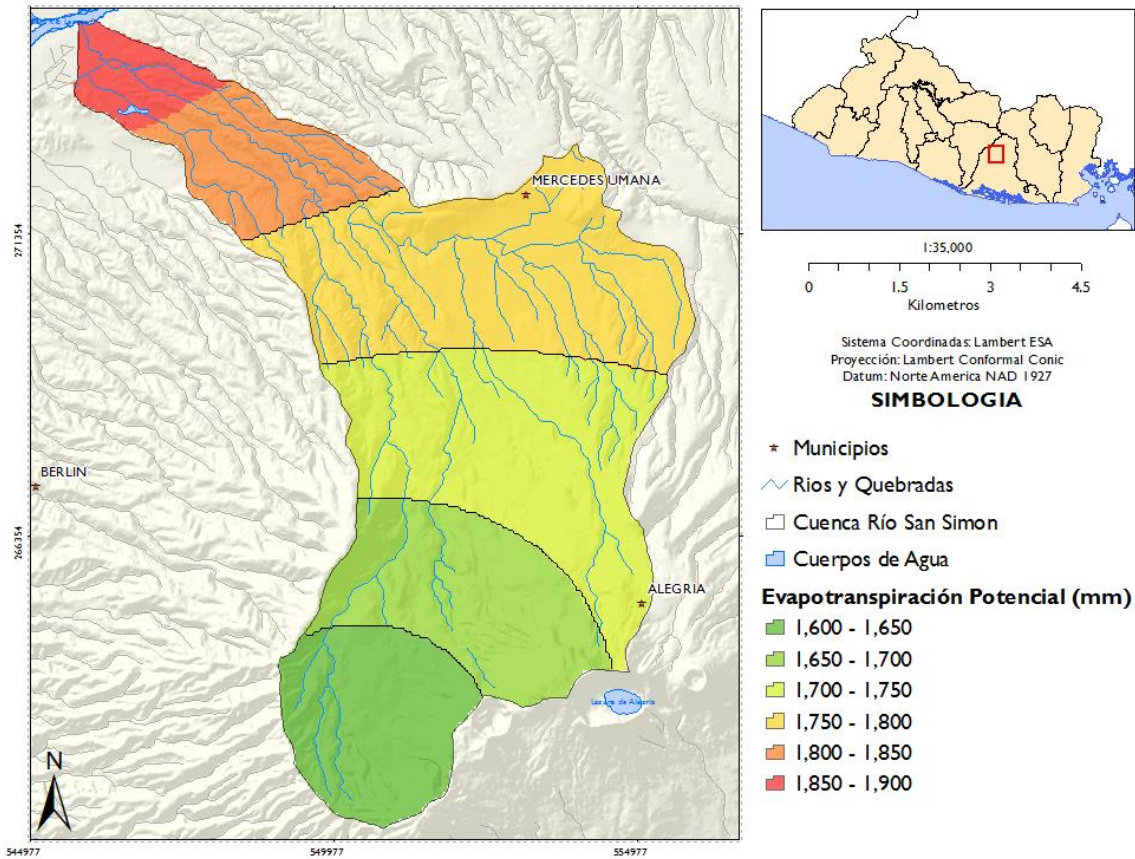


Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001)

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.

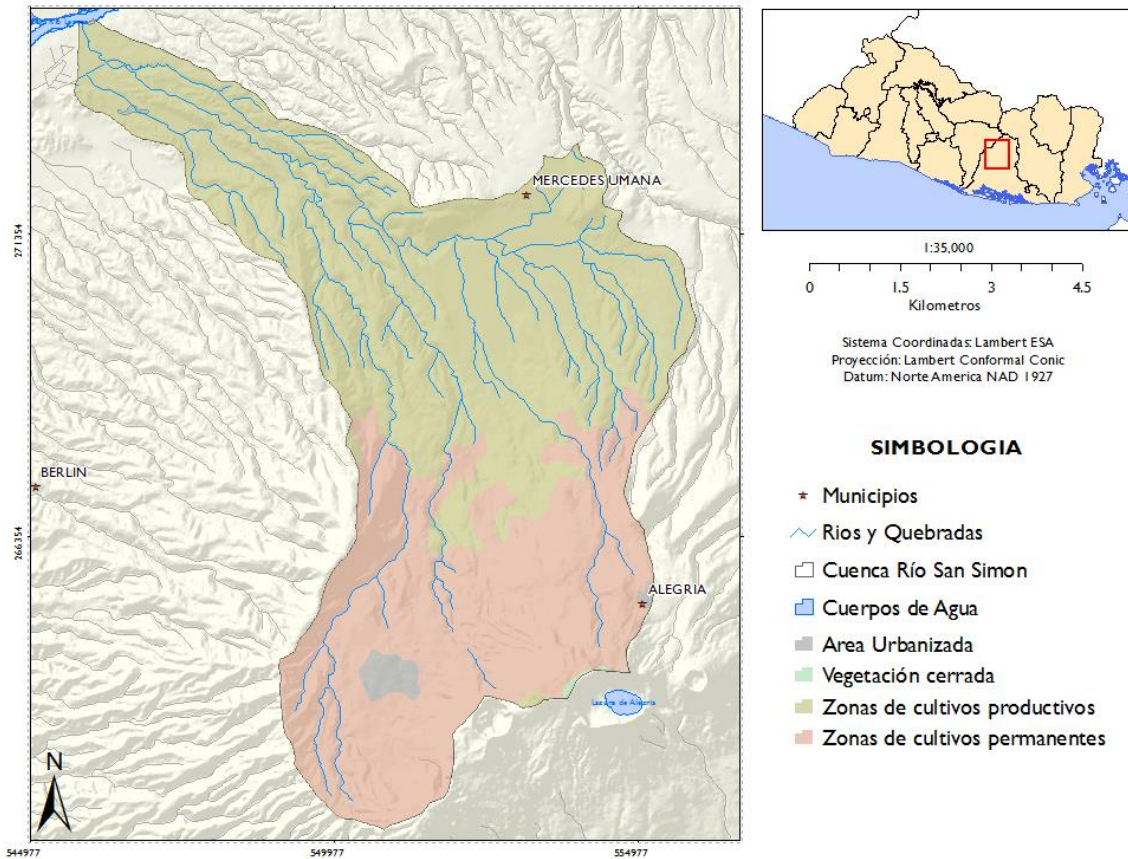


Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca San Simón

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 km² 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.

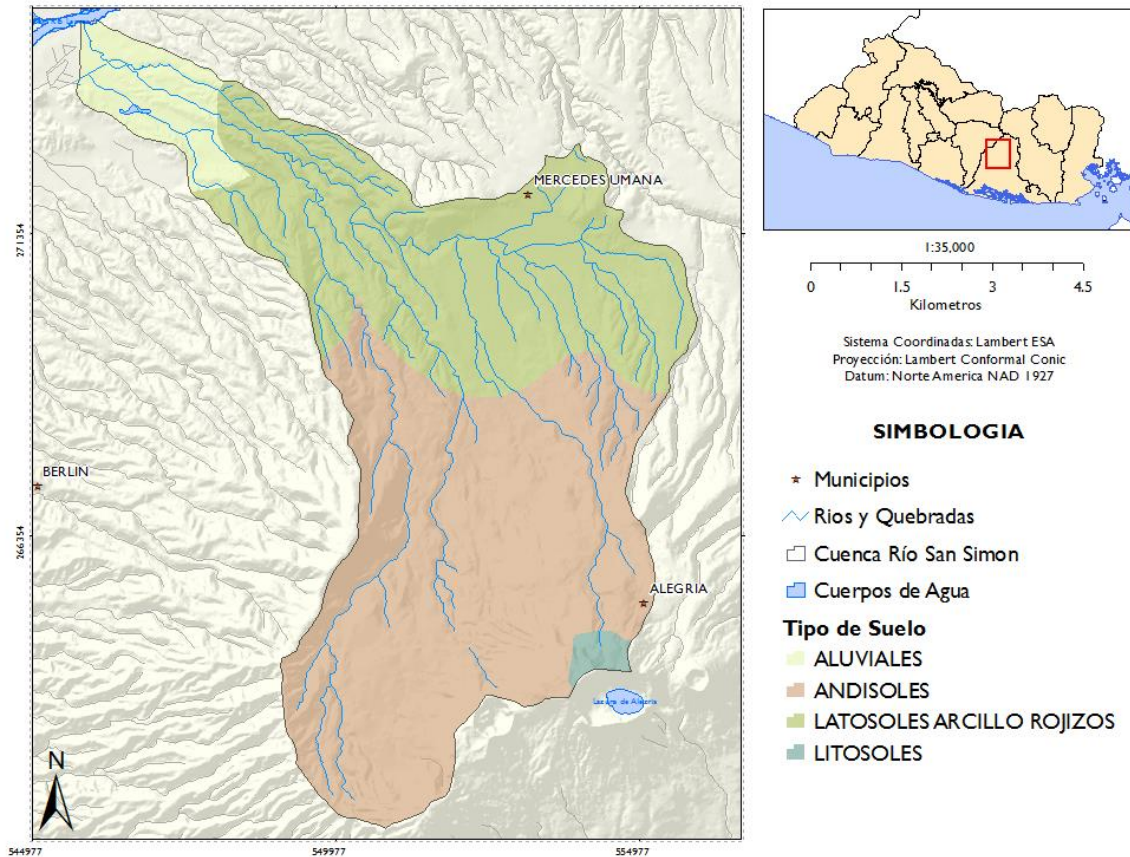


Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca San Simón

- 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

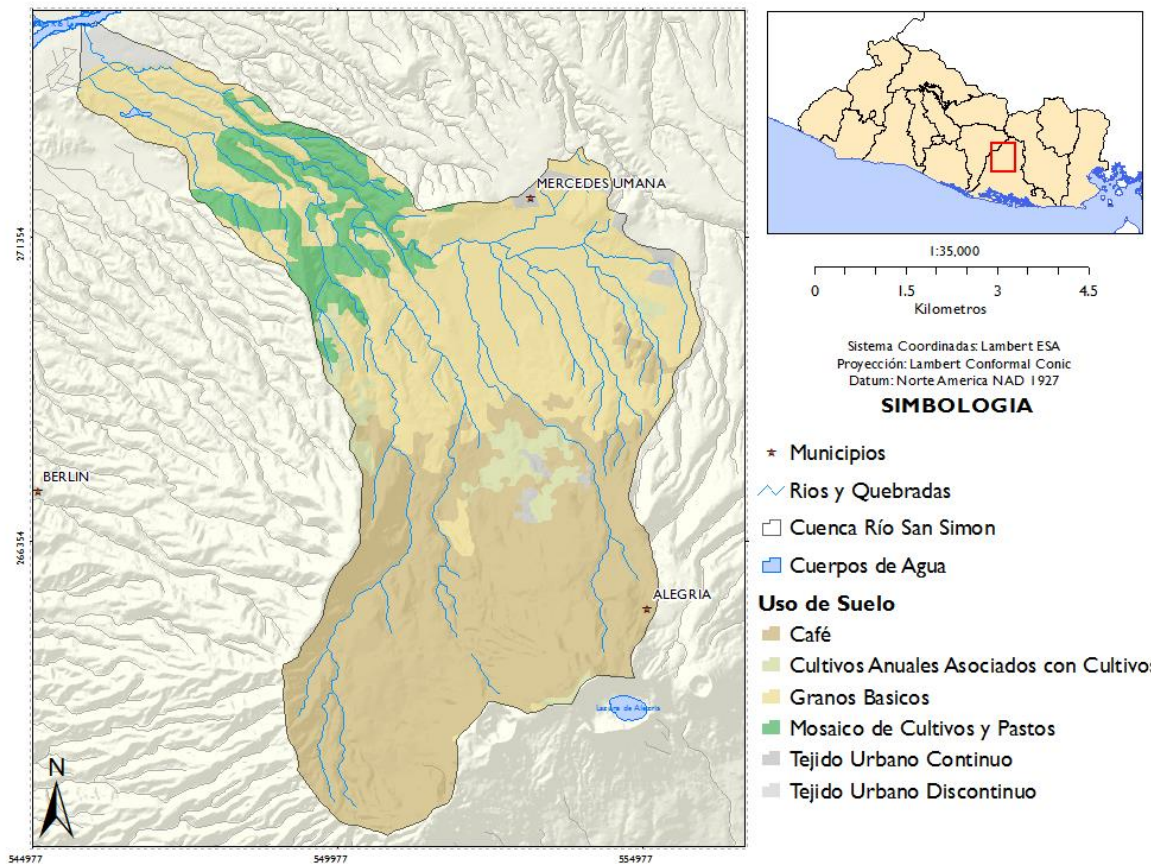


Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003

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.

Porcentaje Uso de Suelo - Cuenca San Simón

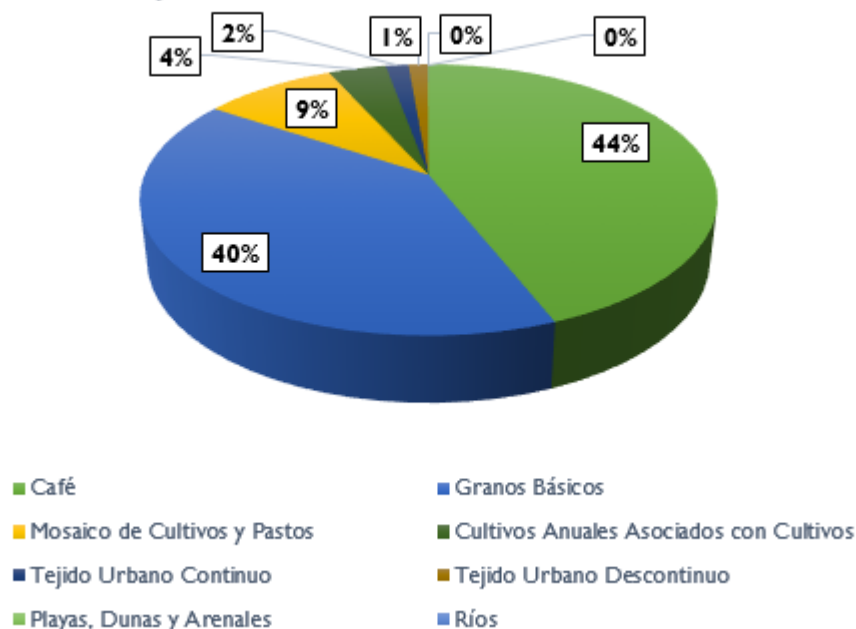


Figura 11: Uso de Suelos en Cuenca San Simón

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.

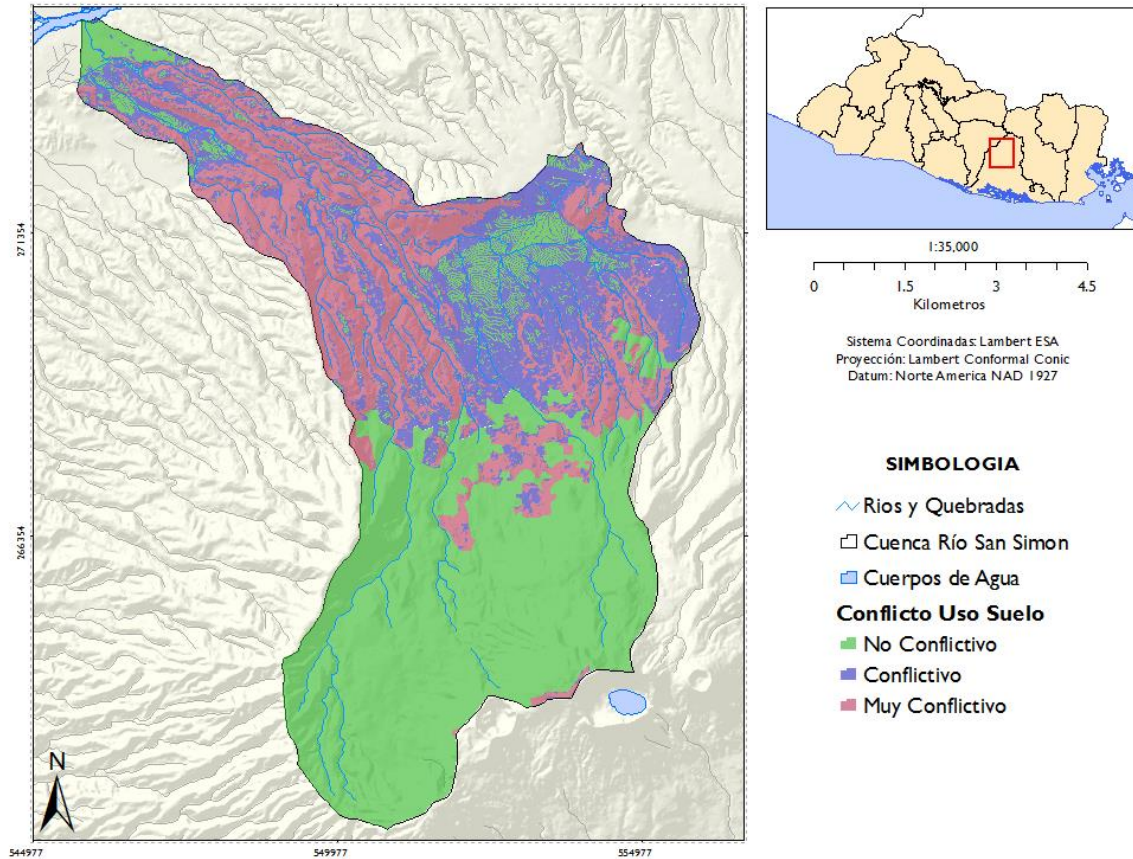


Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río San Simón

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

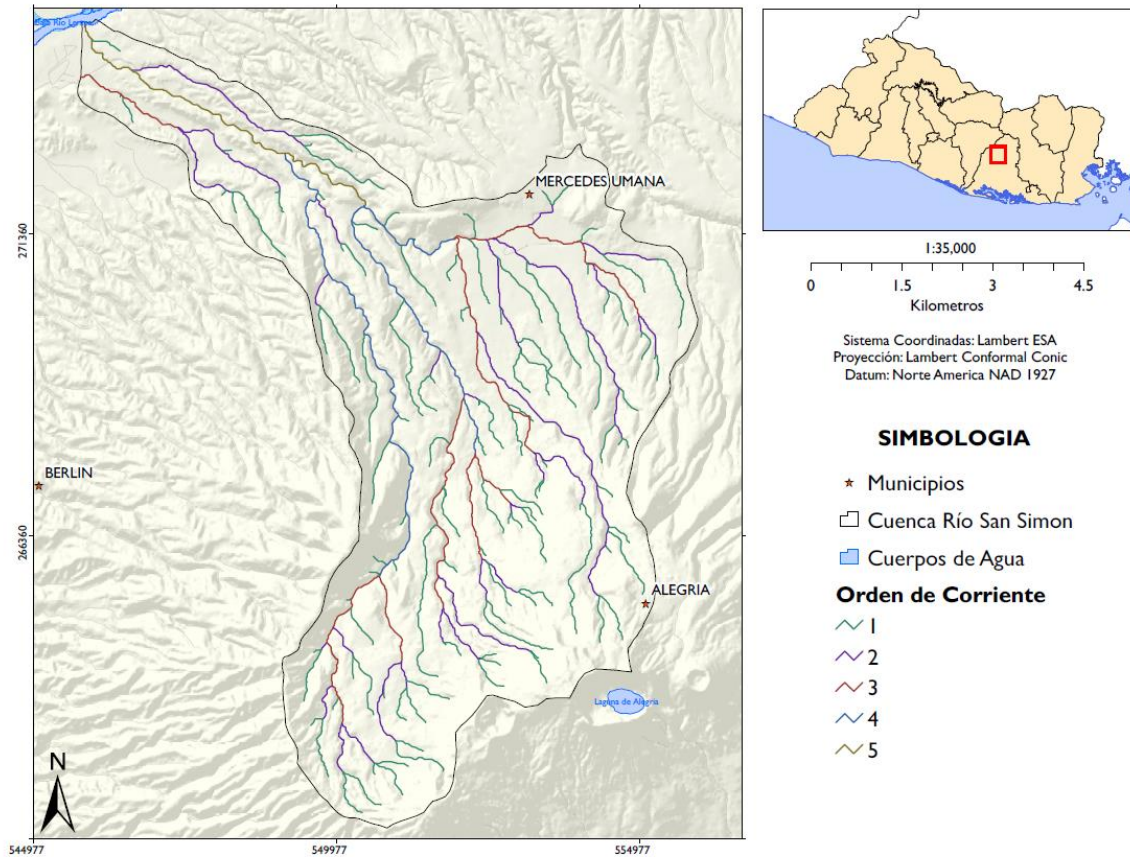


Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca San Simón

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 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)
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	Area (km ²)	Longitud (km)	Factor de Forma “K _f ”
San Simón	58.46	19.69	0.15

Tabla 2: Valor del factor de forma “K_f” en la cuenca Río San Simón

- 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”
San Simón	58.46	54.30	2.00

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 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.

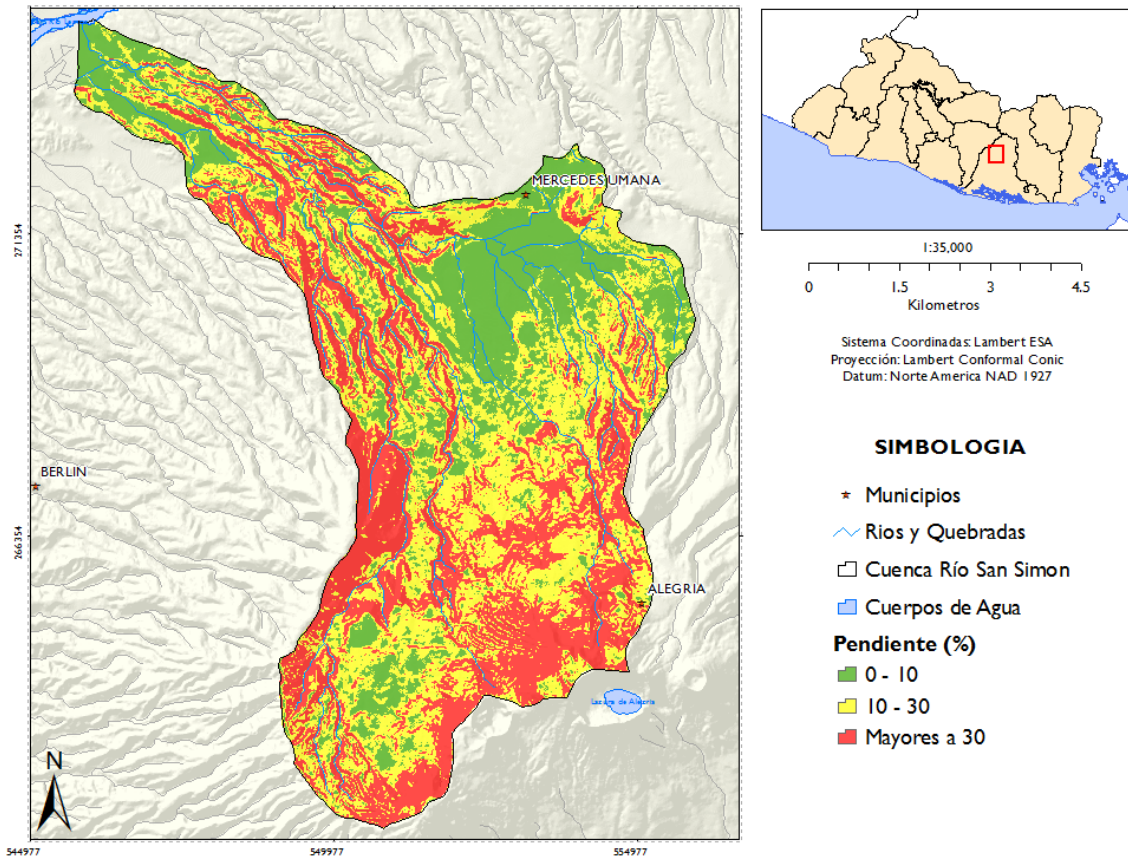


Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río San Simón

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%)

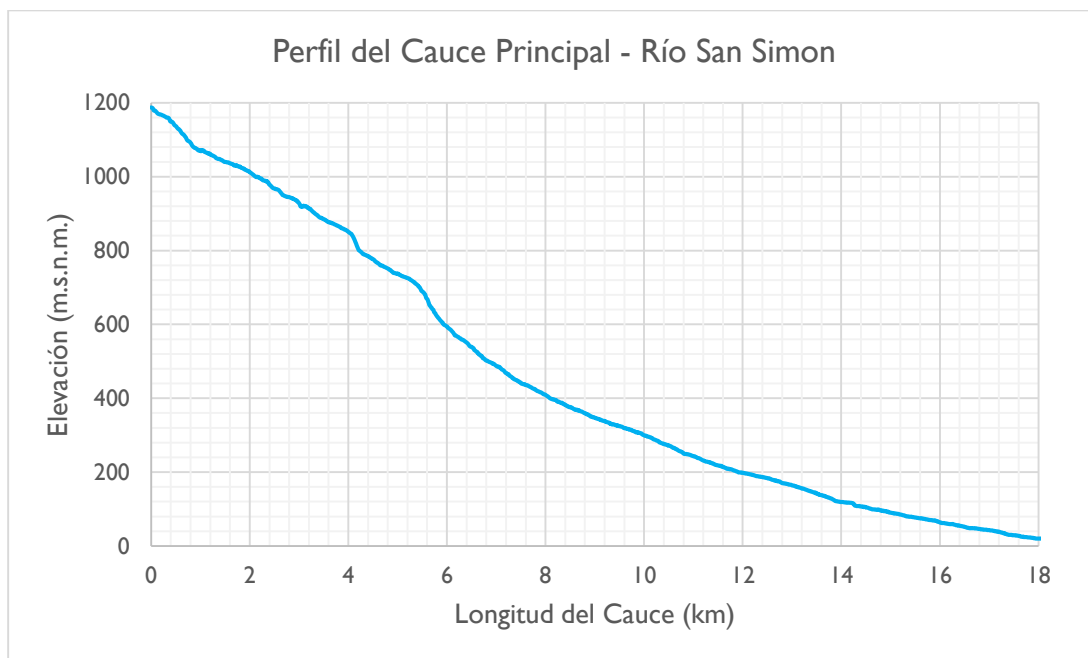


Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río San Simón

r. Curva Hipsométrica.

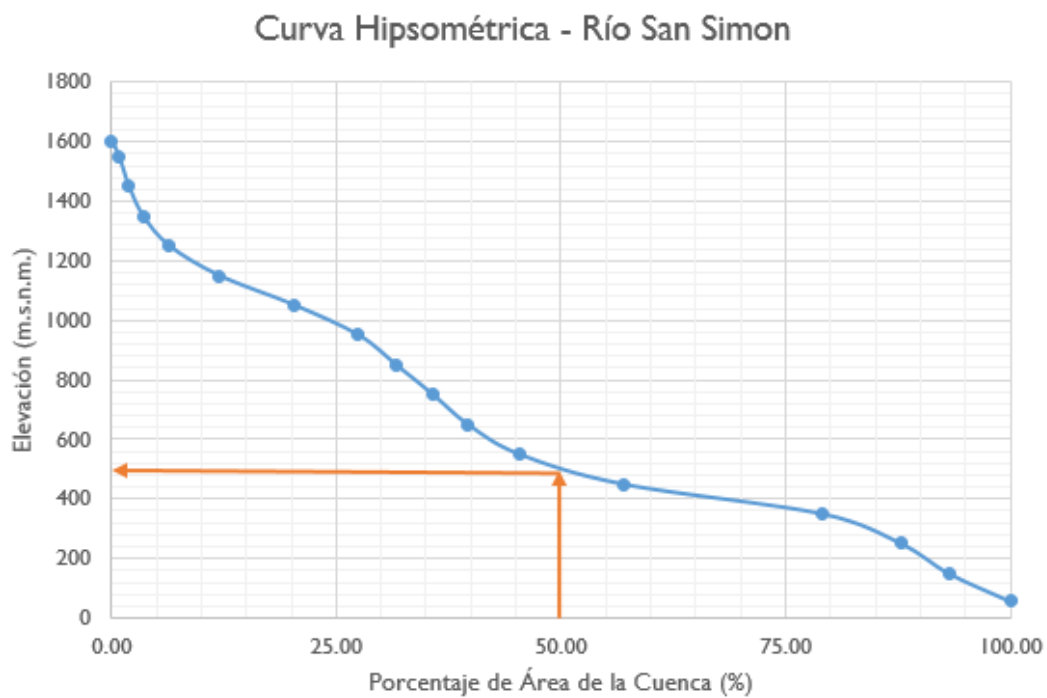


Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río San Simón

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.

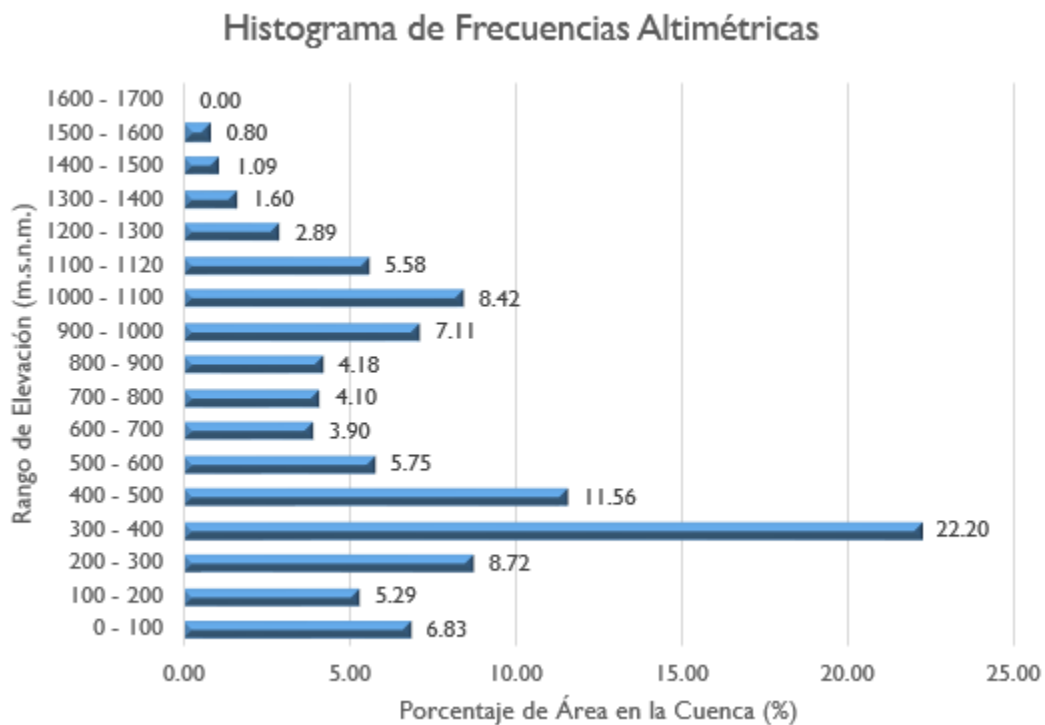


Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río San Simón

VARIABLE	PARAMETRO	VALOR
Parámetros de Forma	Area (km ²)	58.46
	Perímetro (km)	54.30
	Indice 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.

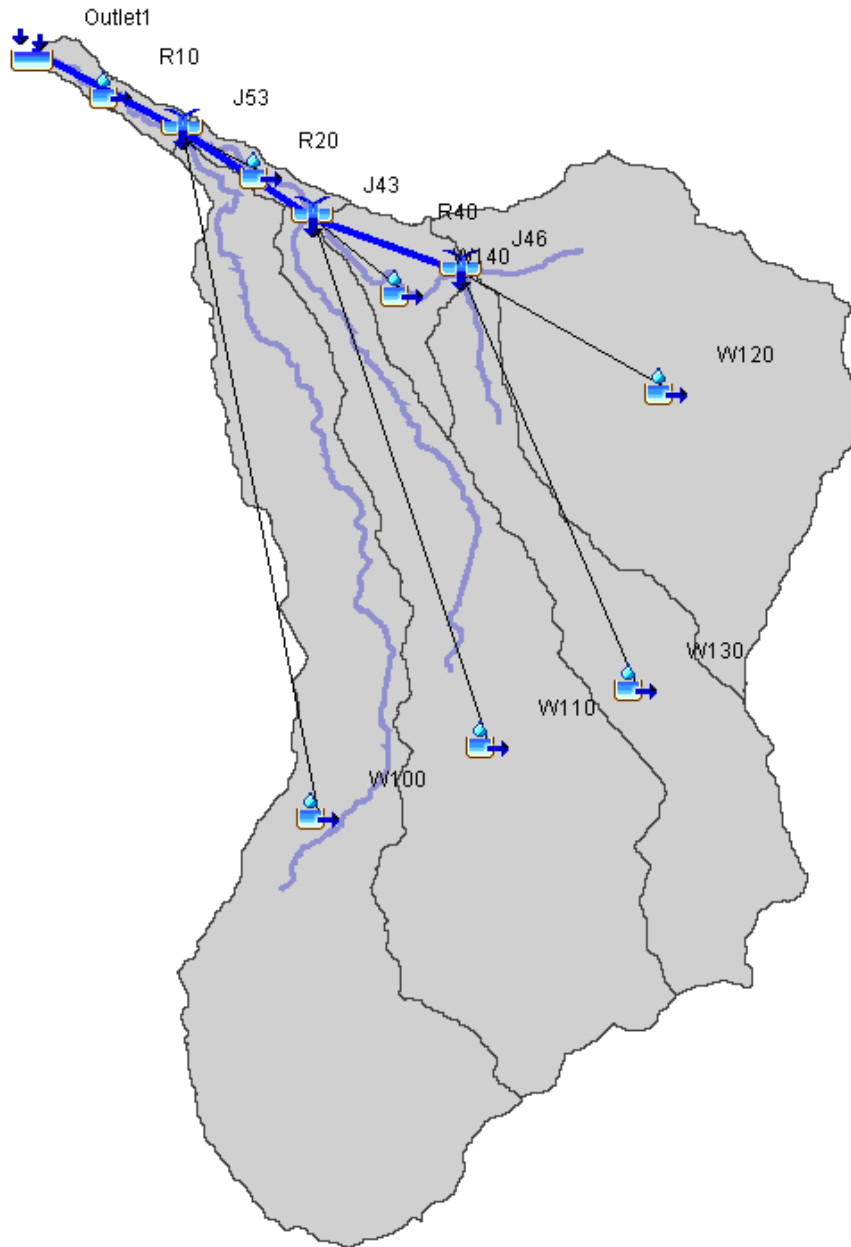


Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS

En cada subcuena 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 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.

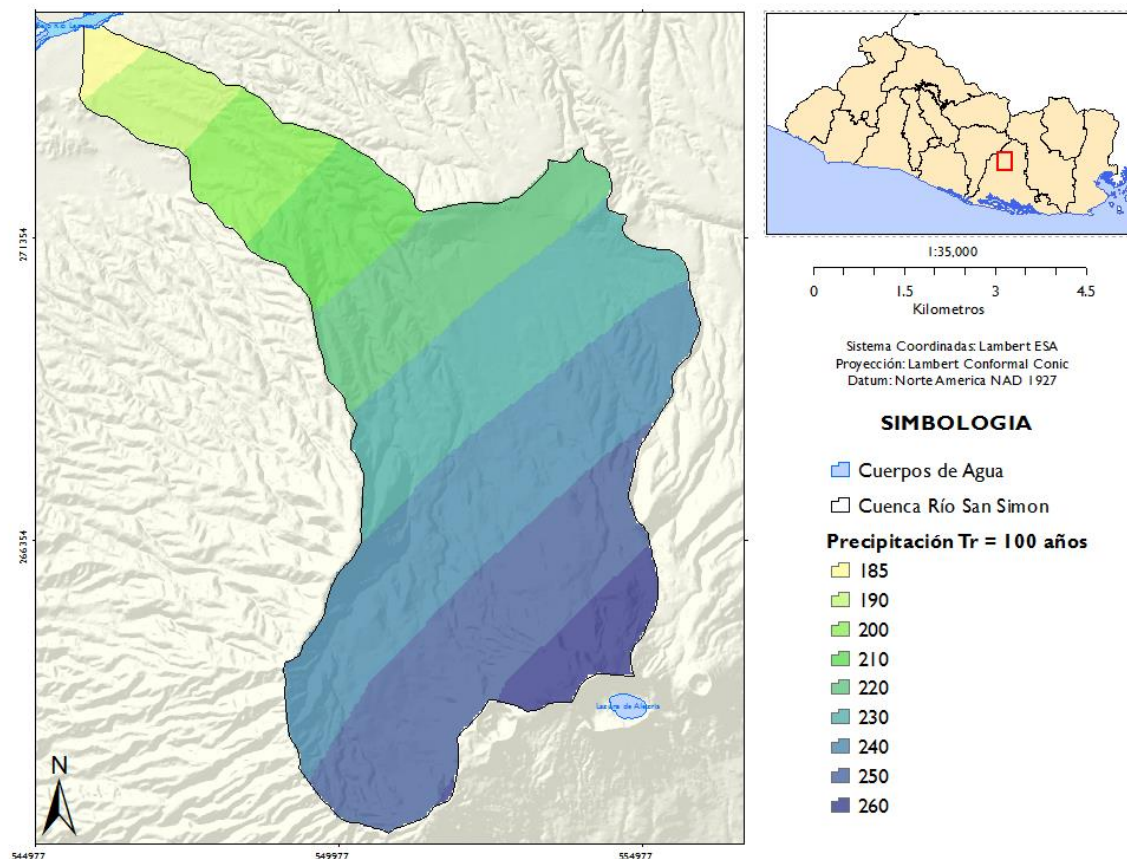


Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para 1 día y un Periodo de Retorno de 100 años

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

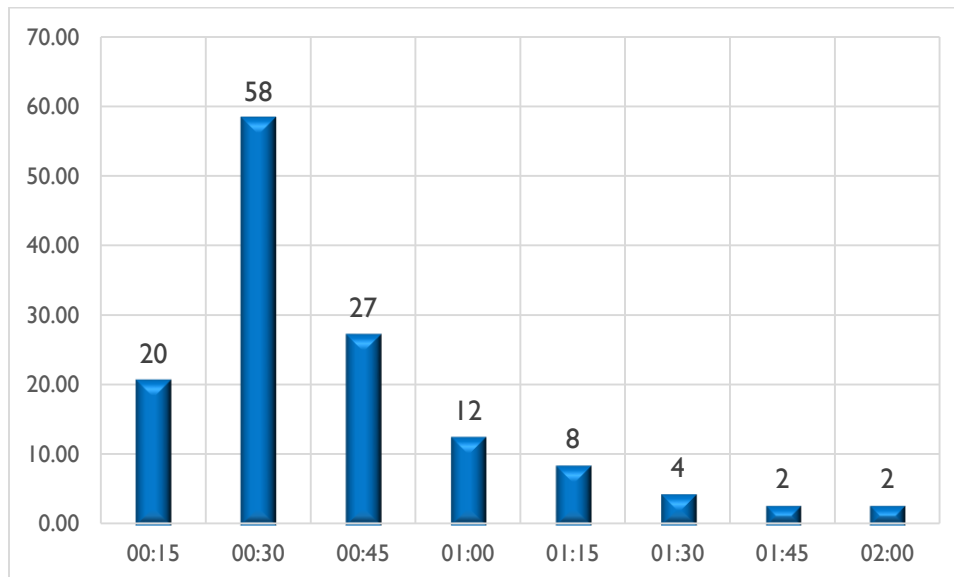


Figura 20: Hietograma de Diseño para Subcuenca W110 y un $Tr = 100$ años

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.

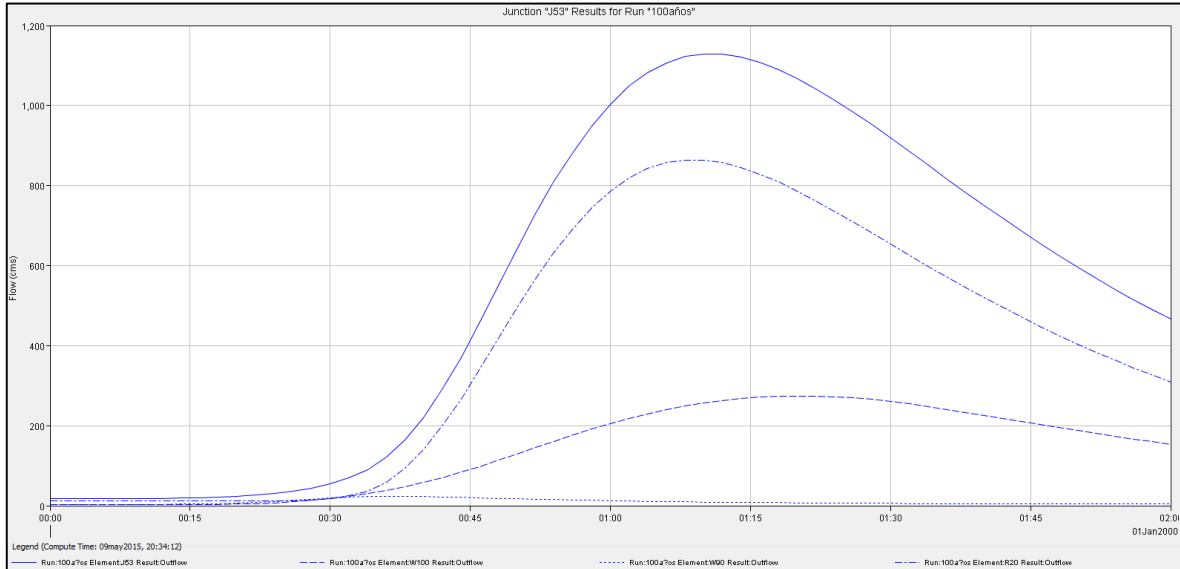


Figura 21: Hidrograma de diseño en Cantón Los Horcones con un $T_r = 100$ años

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.

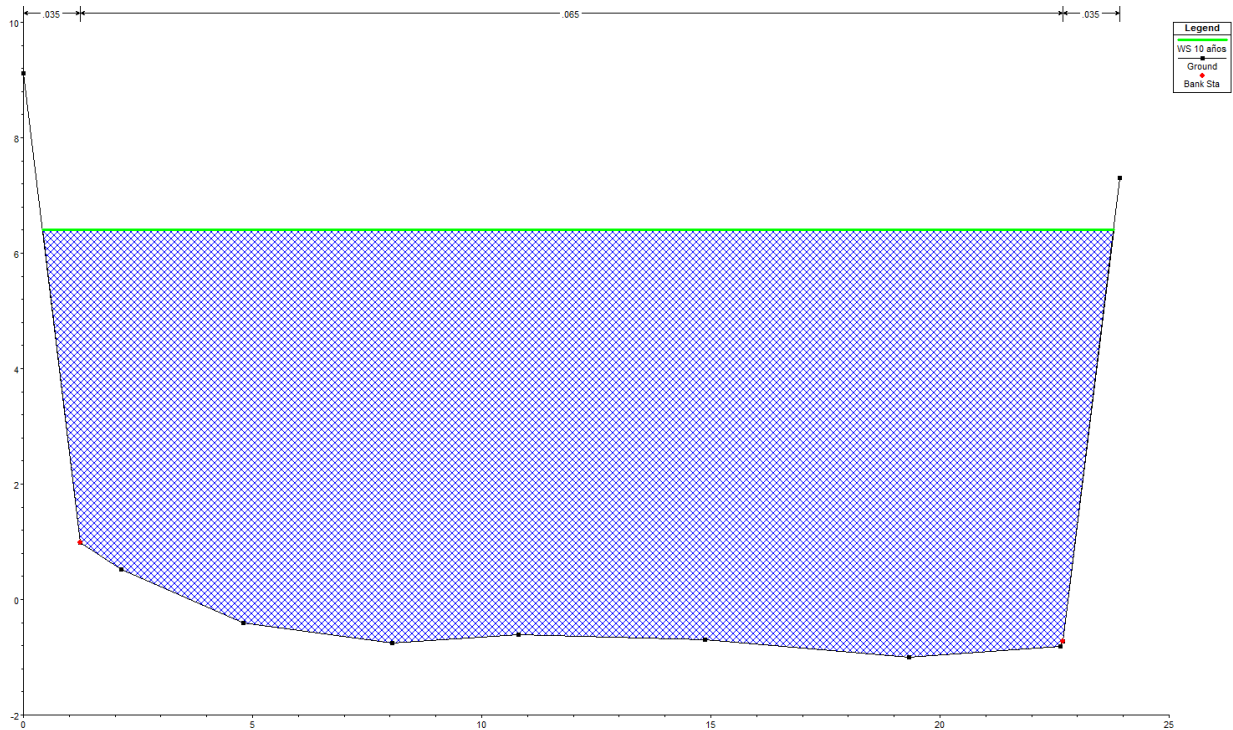


Figura 22: Sección Transversal en Río San Simón en Cantón Los Horcones con un Periodo Retorno de 10 años

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.

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 Mercedes Umaña y Berlin. Se activa el comite de monitoreo y alarma comunal.

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

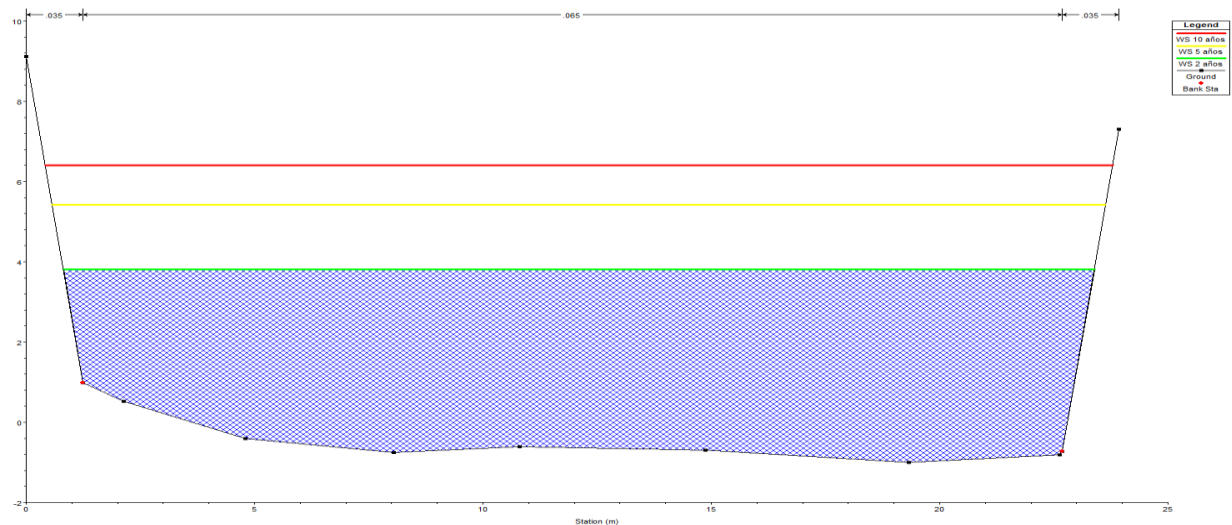


Figura 24: Umbrales de Nivel de Río en Cantón Los Horcones

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

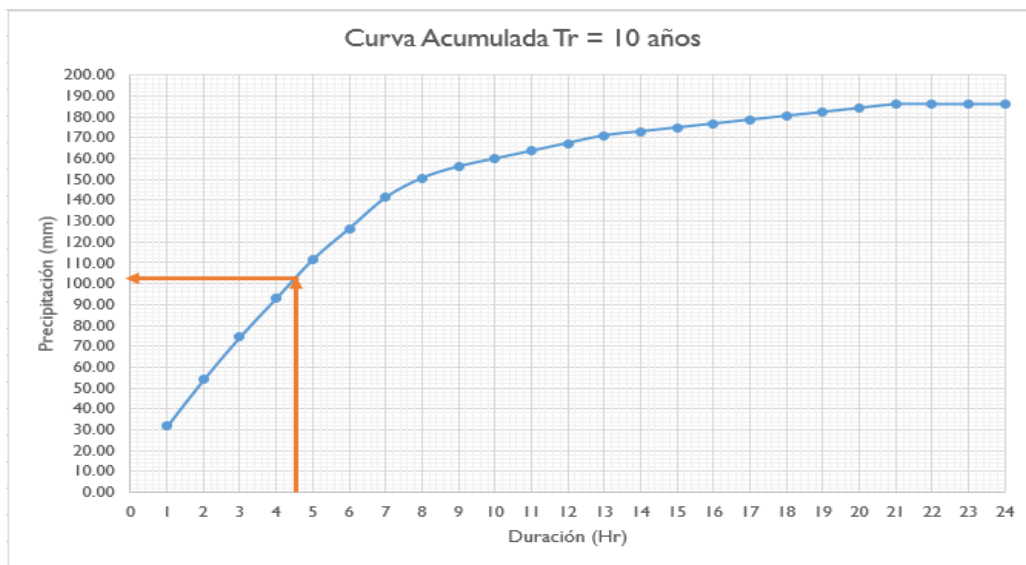


Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con $Tr = 10$ años

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 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.

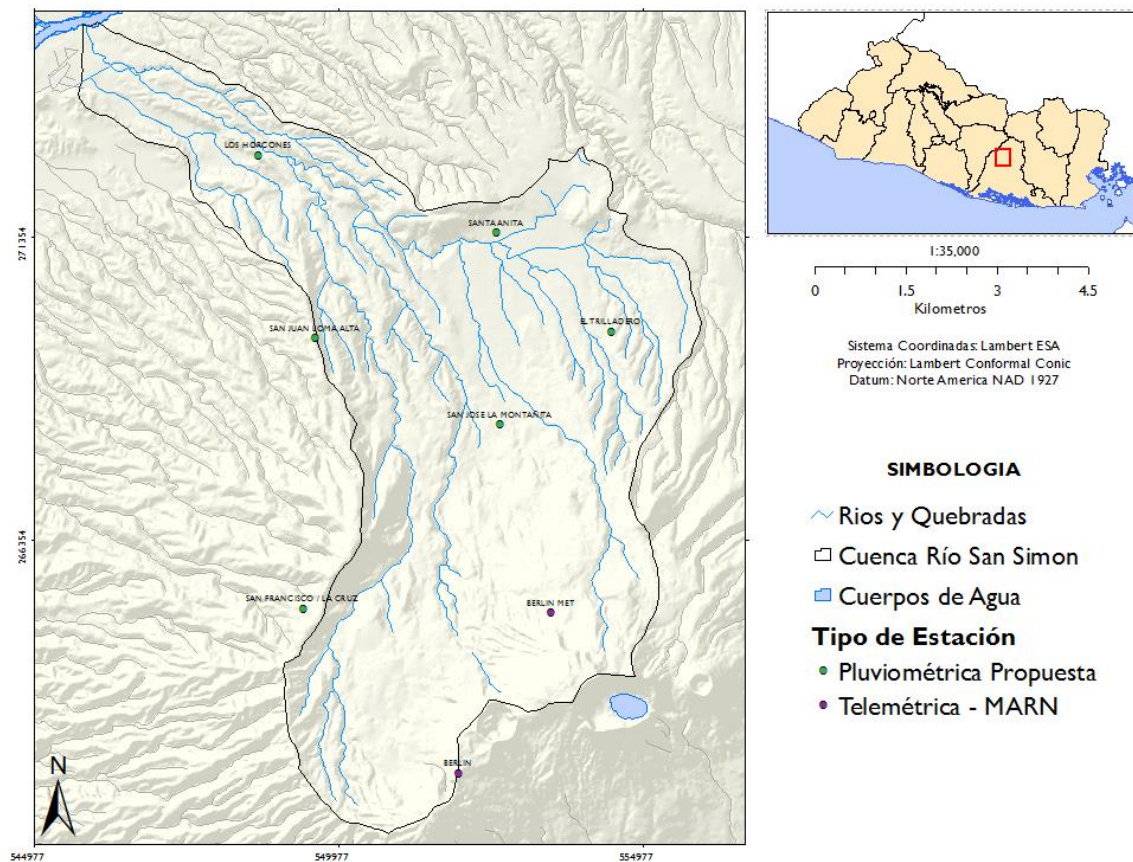


Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros



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.

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