



**MARN**

Ministerio de Medio Ambiente  
y Recursos Naturales

# Sistema de Alerta Temprana por Inundaciones

Cuenca Río El Rosario

## Contenido

<b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>Caracterización en el área de estudio.</b> .....	<b>5</b>
1.1.    Ubicación .....	5
1.2.    Geología .....	6
1.3.    Hidrografía .....	6
1.4.    Características Geomorfológicas .....	7
1.4.1.    Área de la cuenca .....	7
1.4.2.    Tipo de suelo (Pedológico) .....	7
1.4.3.    Orden de corriente .....	8
1.4.4.    Densidad de drenaje.....	9
1.4.5.    Forma de las cuencas .....	10
1.4.6.    Pendiente media de la cuenca .....	13
1.4.7.    Curva Hipsométrica – Histograma de frecuencias aritméticas .....	14
<b>Modelación Hidrológica</b> .....	<b>15</b>
1.5.    Modelación de la cuenca .....	16
1.6.    Determinación de hietograma de diseño .....	17
1.7.    Resultados.....	21
<b>Modelación Hidráulica</b> .....	<b>22</b>
1.8.    Resultados.....	22
<b>Generación de umbrales de río</b> .....	<b>23</b>
<b>Generación de umbrales de precipitación</b> .....	<b>25</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>28</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica de río El Rosario. ....	5
Figura 2: Mapa de sistema de drenaje hídrico de la cuenca río El Rosario. ....	6
Figura 3: Mapa de orden de corriente por el método de Strahler de la cuenca de río El Rosario. 9	
Figura 4. Densidad de drenaje en una cuenca. ....	10
Figura 5. Relación entre la morfología de la cuenca y el caudal por eventos de precipitación. ..	11
Figura 6: Mapa de pendiente en la cuenca del río El Rosario. ....	13
Figura 8. Curvas hipsométricas. Relación con edad y proceso erosivo de una cuenca. ....	14
Figura 9. Curva Hipsométrica- Histograma de frecuencias altimétricas de la cuenca del río El Rosario. ....	15
Figura 10. Modelo de cuenca en HEC-HMS. ....	17
Figura 11. Hietograma de diseño para subcuenca W180 y Tr=200 años. ....	20
Figura 12: Hidrograma de diseño en confluencia de río El Rosario y río El Diamante, para un Tr = 200 años. ....	21
Figura 13. Sección transversal en río El Rosario, cercana a puente sobre carretera El Litoral, para un período de retorno de cinco años. ....	22
Figura 14. Niveles de alerta en el Sistema de Alerta Temprana en río El Rosario. ....	23
Figura 15. Umbrales de nivel de río El Rosario. ....	24
Figura 16. Curva de precipitación acumulada con Tr = 5 años. ....	25

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de la densidad de drenaje en la cuenca río El Rosario. ....	10
Tabla 2: Valor del factor de forma “ $K_f$ ” en la cuenca río El Rosario. ....	12
Tabla 3: Valor del factor de forma “ $K_f$ ” en la cuenca del río El Rosario. ....	12
Tabla 4: Parámetros hídricos. ....	16
Tabla 5: Precipitación máxima para 1 día y diferentes periodos de retorno. ....	18
Tabla 6: Precipitaciones máximas afectadas por intervalo fijo de observación. ....	18
Tabla 7: Precipitación máxima para una duración de dos horas. ....	19
Tabla 8: Distribución temporal para la subcuenca W180. ....	20
Tabla 9: Umbrales de nivel de río El Rosario, sección en cercanías de puente sobre carretera El Litoral. ....	24
Tabla 10. Umbrales de precipitación en la cuenca del río El Rosario. ....	26
Tabla 11. Red de Observadores Locales en río El Rosario. ....	27

## Introducción

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) corresponde a procedimientos e instrumentos combinados para lograr el efectivo monitoreo de una amenaza o de un evento adverso, pudiendo ser este de carácter natural o antrópico, pero de cierto carácter previsible. Esto se logra con la recolección y procesamiento de datos e información, que llevan a la creación de pronósticos o predicciones temporales sobre la acción y el posible efecto adverso que pudiera tener un evento que genere una amenaza. Estos tipos de sistemas han sido muy útiles para el resguardo de vidas debido a la información generada y a la divulgación de esta, con lo que son mayormente enfocados a la reducción del riesgo y a la generación de advertencias. Estos sistemas en el país están conformados por herramientas de análisis de amenaza, el monitoreo continuo y la participación de la Red de Observadores Locales.

La introducción de estos sistemas de SAT en El Salvador, se realizó en el año 1998 como respuesta a los estragos que ocasionó el huracán Mitch, el cual debido a la gran cantidad de lluvia produjo inundaciones repentinas en varios ríos, incluyendo el Río Grande de San Miguel y el río Lempa los cuales se desbordaron, contribuyendo al daño. Dicho evento dejó a 240 personas fallecidas, 84,000 personas afectadas y más de USD\$388.1 millones en pérdidas en el país. Posteriormente entre los años 2002 y 2005 se implementaron cinco sistemas de alerta temprana por inundaciones en los ríos Paz, Grande de San Miguel, Lempa, Goascorán y Jiboa; dichos sistemas continúan en funcionamiento.

En los últimos años se ha aumentado el número de SAT, solamente entre los años 2005 a 2015 se implementaron 21 sistemas de alerta temprana, destacándose los de los ríos Apancoyo, Huiza Acahuapa y Titihuapa.

Con el desarrollo de la modelación y caracterización de la cuenca del río El Rosario mostrada en este documento, se ampliará la red de Sistemas de Alerta Temprana implementados en el país, cuyo fin más importante es el de alertar de manera anticipada oportuna a la población y autoridades competentes ante las amenaza de eventos hidrometeorológicos que se estén desarrollando.

## Caracterización en el área de estudio.

### 1.1. Ubicación

La cuenca del río El Rosario se encuentra ubicada en el departamento de Ahuachapán, municipio de Jujutla, dentro de la región hidrográfica "C" o región hidrográfica "Cara Sucia", dentro de la subcuenca "Cuilapa". Esta cuenca transita desde la cabecera del municipio de Jujutla hasta desembocar al océano Pacífico.

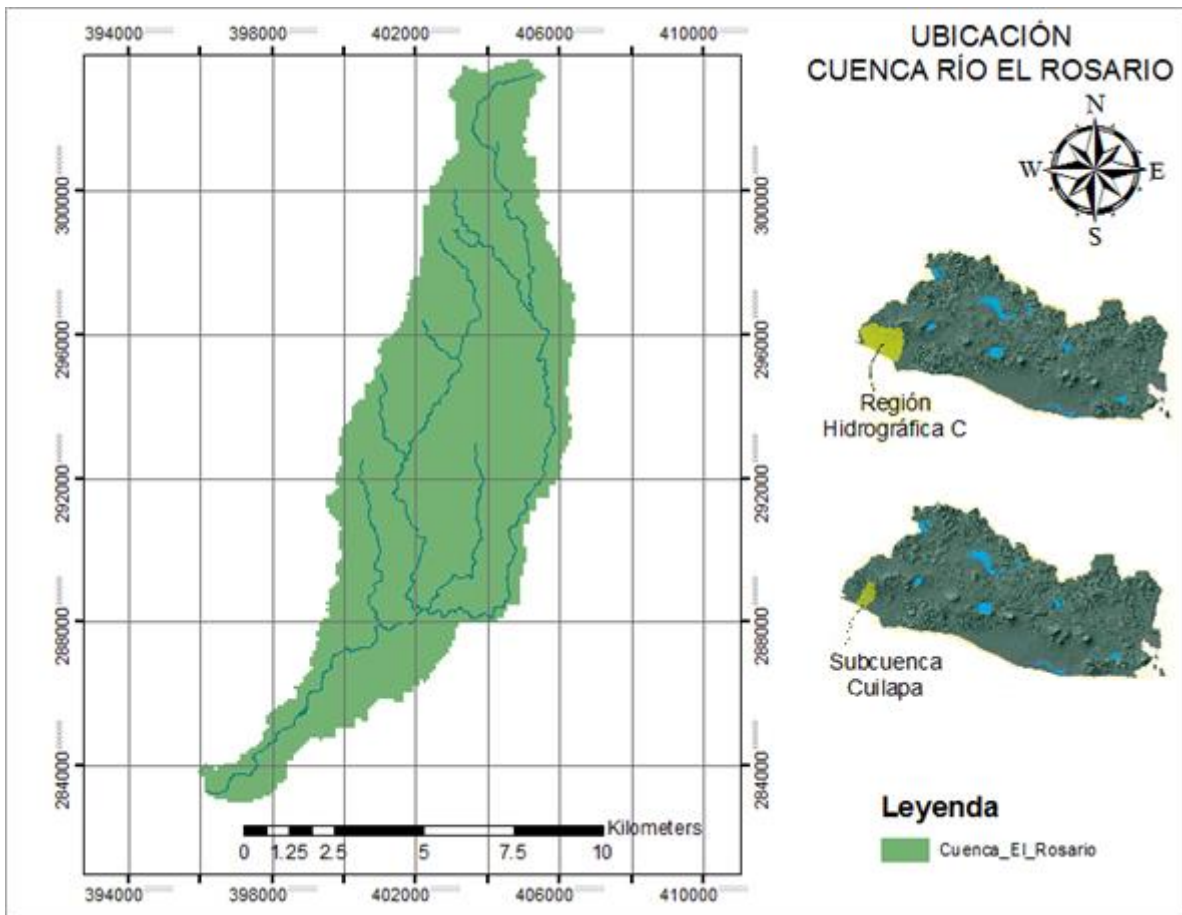


Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica de río El Rosario.

## 1.2. Geología

Considerando la geología del lugar, la zona correspondiente al área de la cuenca del río El Rosario, se encuentra conformada por efusivas andesíticas, piroclásticas, epiclastitas volcánicas subordinadas, aluviones localmente con intercalaciones de piroclásticas, manglares, epiclastitas volcánicas y corrientes de lava intercaladas.

## 1.3. Hidrografía

La red hídrica que contiene a la cuenca El Rosario nace en el municipio de Jujutla y desemboca en el Océano Pacífico, convirtiéndola así en un tipo de cuenca exorreica. Posee además un drenaje dendrítico o flujo de árbol, con un ángulo de llegada al mar cercano a los 45°. Los cauces tributarios que conforman a la cuenca son en su mayoría, ríos de menor longitud y caudal, como río El Negro, río Tihuicha, quebrada Las Pilas y río El Diamante.

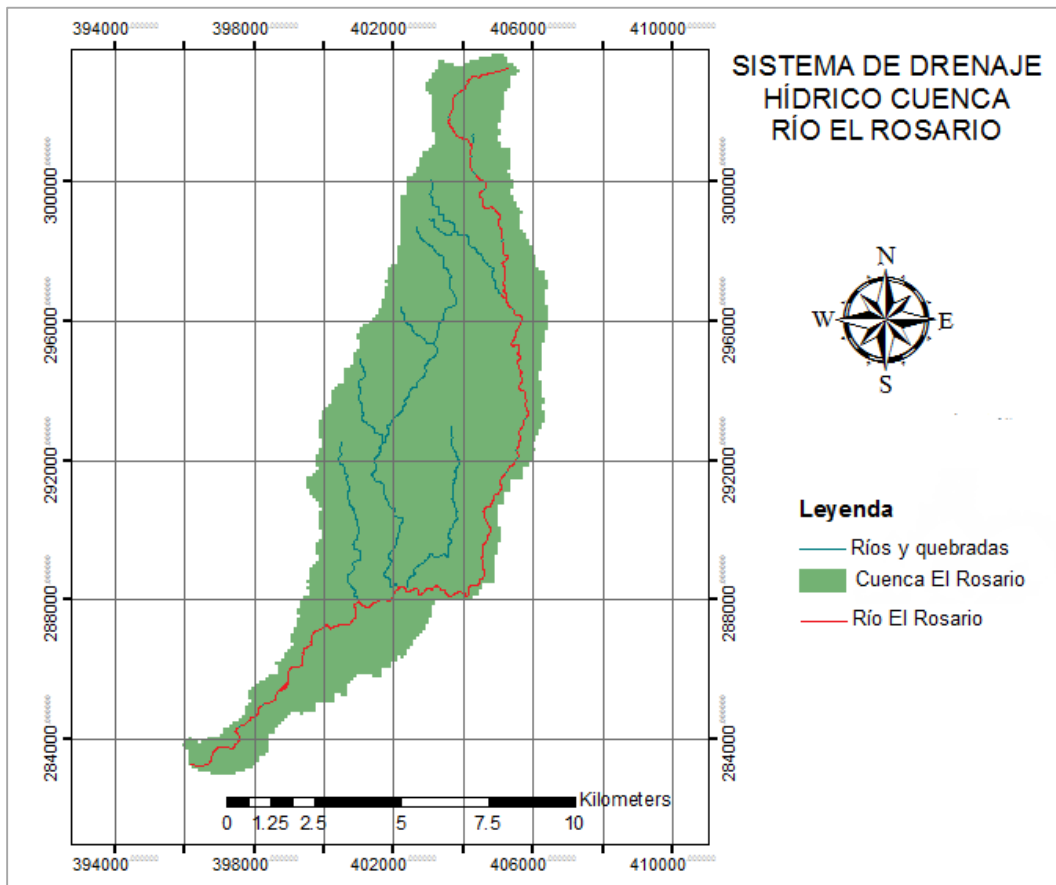


Figura 2: Mapa de sistema de drenaje hídrico de la cuenca río El Rosario.

## **1.4. Características Geomorfológicas**

Las características geomorfológicas de la cuenca permitirán conocer las propiedades particulares de ella, para tomarlas como un parámetro que ayuden a determinar la relación de estas propiedades con su respuesta ante un evento, debido a que dichas propiedades ayudan controlar el volumen de escurrimiento y condicionan la velocidad de respuesta de la cuenca.

### **1.4.1. Área de la cuenca**

El área de la cuenca corresponde a toda la superficie definida por su contorno y por ende a toda el área drenada, por lo tanto tiene una gran influencia en la magnitud del caudal que va a drenarse de ella misma, debido a que según el tamaño de la cuenca serán menores o mayores los caudales resultantes.

El área de la cuenca del río El Rosario es de 82.04 km<sup>2</sup> y posee un perímetro de 70.46 km.

### **1.4.2. Tipo de suelo (Pedológico)**

Dentro de la cuenca del río El Rosario se tienen diferentes tipos de suelo, siendo estos:

- Aluviales

Suelos de materiales transportados o depositados en las planicies costeras y valles interiores, aluviones estratificados de textura variable, recientes o de reciente deposición y carecen de modificaciones de los agentes externos como agua, clima, etc. Ubicados en áreas ligeramente inclinadas o casi a nivel en las planicies costeras y valles interiores en donde el manto freático está cerca de la superficie y el drenaje por lo general es pobre. Son productivos para agricultura y aptos para toda clase de cultivos.

- Andisoles

Suelos originados de cenizas volcánicas, de distintas épocas y en distintas partes del país, tienen por lo general un horizonte superficial entre 20 y 40 centímetros de espesor, color oscuro, textura franca y estructura granular. Su capacidad de producción es muy alta, aptos para una agricultura intensiva para toda clase de cultivo.

- Grumosoles

Suelos muy arcillosos de color gris a negro con vegetación de morros, cuando están muy mojados son pegajosos y plásticos. Secos son muy duros y se rajan. Superficialmente son de color oscuro pero con poco humus o materia orgánica. El subsuelo es gris oscuro. Son muy profundos y poco permeables por lo que la infiltración de agua lluvia es muy lenta.

- Latosoles Arcillo Rojizo

Suelos con un horizonte arcilloso en la sección media de su perfil. Aunque arcillosos tienen un aceptable drenaje debido a la fuerte estructuración de la arcilla. El drenaje de este tipo de suelo mejora con la cobertura forestal o con cultivo de café.

- Regosoles

Suelos profundos, jóvenes de material suelto o no consolidado. El horizonte superficial, es único y evidente a la vista suele ser de unos 10 a 20 centímetros de espesor, con alto contenido de materia orgánica. En El Salvador se encuentra siempre en material arenoso fino de color gris y suelto.

- Halamorficos

Suelos salinos de los manglares de colores grises. Textura variable, como limosas, arenosas y arcillosas de estratos en diferente posición. El uso potencial de estos suelos es muy pobre para la producción de cultivos agrícolas.

### **1.4.3. Orden de corriente**

Se refiere a una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. Por lo que el orden de corriente principal se refiere a un indicador de la magnitud de esta y de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca, por lo que entre más alto es el orden de la cuenca, existe un drenaje más eficiente que desalojará más rápidamente el agua.

Este orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida. La Figura 3 muestra el orden de corriente encontrado para la cuenca del río El Rosario usando el método de Strahler, el cual se calculó de orden tres.



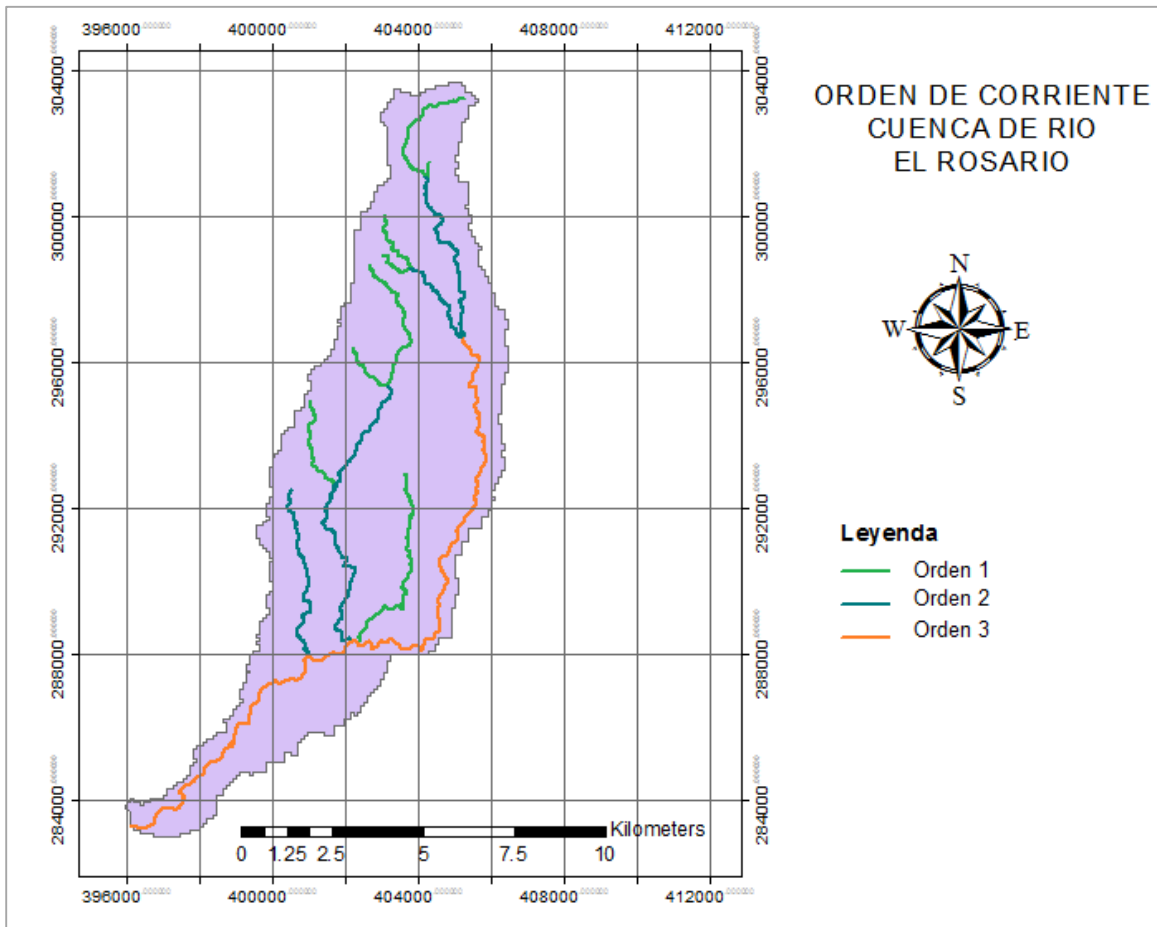


Figura 3: Mapa de orden de corriente por el método de Strahler de la cuenca de río El Rosario.

Con esto se determina que la cuenca posee una distribución de corrientes moderada.

#### 1.4.4. Densidad de drenaje

Es determinado por la relación entre la longitud de corriente y el área total de la cuenca:

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

Siendo: A, área de la cuenca en km<sup>2</sup>

L, longitud de corrientes efímeras, intermitentes y perennes en km

Este valor se convierte en un índice de la complejidad y del desarrollo que tiene el sistema de drenaje de la cuenca.



Baja

Regular

Alta

Figura 4. Densidad de drenaje en una cuenca.

Se ha observado, que valores de Dd alrededor de 0.5 km/km<sup>2</sup> indican cuencas con drenaje pobre, mientras que valores de Dd alrededor de 3.5 km/km<sup>2</sup> son característicos de cuencas bien drenadas.

El valor de densidad de drenaje para la cuenca del río El Rosario, se muestra en la Tabla 1, indicando que la cuenca es pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta, teniéndose un valor cercano a 0.50.

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )
El Rosario	82.04	68.43	0.83

Tabla 1: Valores de la densidad de drenaje en la cuenca río El Rosario.

#### 1.4.5. Forma de las cuencas

Se evalúa el grado de similitud de la forma del parteaguas de la cuenca con la forma de una figura geometría regular. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos, debido a que altera las características de la descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujos máximos. Para la cuenca del río El Rosario, se determinó el factor de forma y el índice de Gravelius.

### Factor de Forma “K<sub>f</sub>”

Es obtenido utilizando el área de la cuenca “A”G y la longitud del cauce principal medido desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida “L”.

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

Se relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado con K<sub>f</sub> = 1, resultando que un valor mayor a uno, indica el grado de achatamiento y la tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa que permitiría la formación fácil de crecidas.

Este valor para la cuenca del río El Rosario, mostrado en la siguiente tabla indica que la forma de la cuenca no se acerca a la forma de un cuadrado resultando que tiene cierta tendencia a no concentrar el escurrimiento cuando se da una lluvia intensa.

Valores interpretativos de la relación de forma indican que valores menores a 0.22 son característicos de cuencas muy alargadas, como la del río El Rosario, cuyo valor obtenido fue de 0.10, indicando 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.

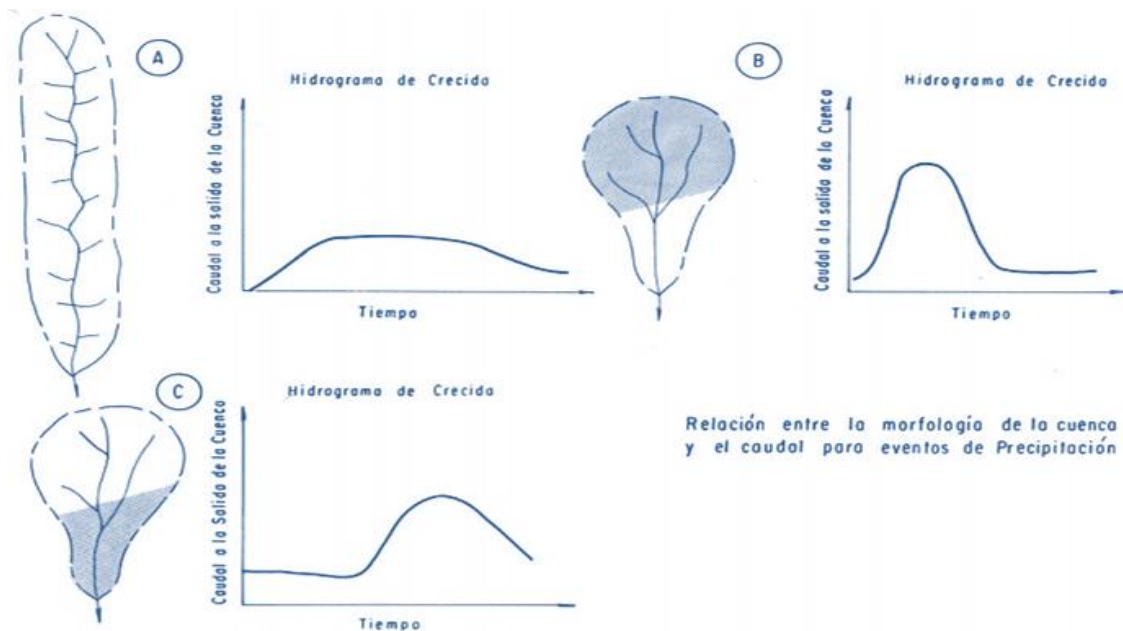


Figura 5. Relación entre la morfología de la cuenca y el caudal por eventos de precipitación.

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Factor de forma "K <sub>f</sub> "
<b>El Rosario</b>	82.04	28.16	0.10

Tabla 2: Valor del factor de forma "K<sub>f</sub>" en la cuenca río El Rosario

### Índice de Gravelius

Llamado también coeficiente de compacidad, es el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo con área igual al tamaño de la cuenca en kilómetros cuadrados:

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

Dónde: P, perímetro de la cuenca en km

A, área de la cuenca en estudio en km<sup>2</sup>

Este coeficiente tiene como límite inferior la unidad, en ese caso la cuenca sería circular. Con lo que si este valor crece y se aleja más del valor 1.00, está indicando el grado de distorsión en la forma de la cuenca, siendo estas entonces cuencas más alargadas o simétricas.

Mientras más se aproxime a 1.00, tendrá una tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas debidas a escurrimientos.

Para la cuenca del río El Rosario, este valor indica menor tendencia a la concentración de volúmenes de agua, debiéndose a la forma alargada que esta posee.

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Índice de Gravelius "K <sub>c</sub> "
<b>El Rosario</b>	82.04	70.46	2.2

Tabla 3: Valor del factor de forma "K<sub>f</sub>" en la cuenca del río El Rosario.

### 1.4.6. Pendiente media de la cuenca

A medida que este valor junto con la pendiente media del cauce principal aumenta, son mayores las posibilidades de generar crecidas, debido a que la capacidad de arrastre de los sedimentos y la velocidad del caudal cuando hay tormentas se incrementan. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno. En la cuenca en estudio, las zonas de fuerte pendientes presentan con mayor frecuencia problemas de erosión mientras en zonas planas aparecen problemas de drenaje y sedimentación.

La cuenca del río El Rosario posee una pendiente de 17.74% observándose pendientes mayores a 50% en las zonas altas y medias de la cuenca. Mientras que en las zonas de desembocadura al océano, se observan pendientes menores de 20%. El mapa mostrado a continuación, expresa el valor de las pendientes en forma de porcentaje en el que el 100% corresponde a una pendiente de 45°, entre más alto el valor significa la aproximación de la pendiente a una vertical (90°).

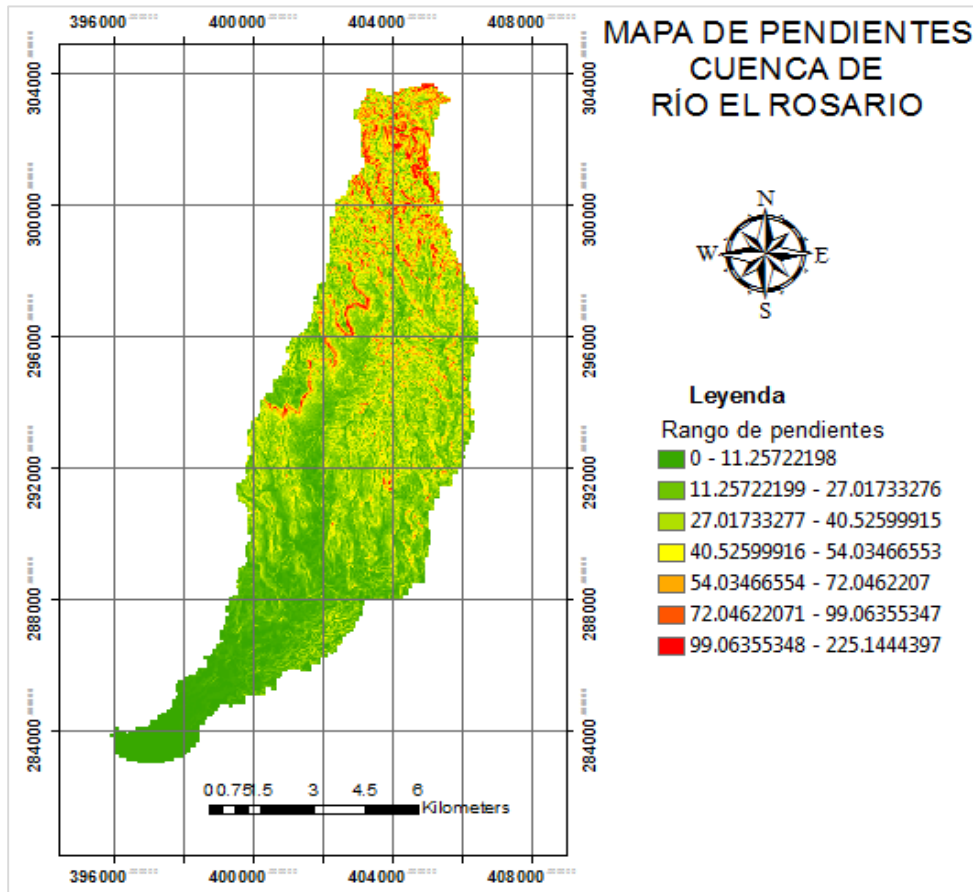


Figura 6: Mapa de pendiente en la cuenca del río El Rosario.

### 1.4.7. Curva Hipsométrica – Histograma de frecuencias aritméticas

Curva hipsométrica: indica el porcentaje de área de la cuenca o la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada, con lo que determina el área que es drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Debido a que muestran esta variación en la relación área-altura, se utilizan como un indicativo de la edad de la cuenca y del nivel de actividad erosiva que mantienen los ríos.

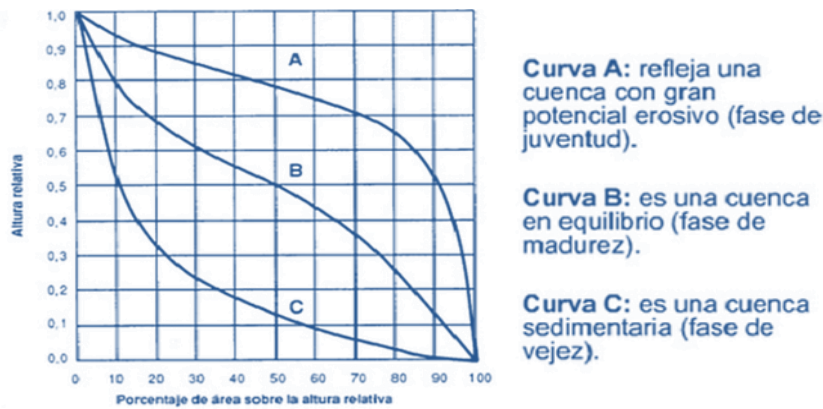


Figura 8. Curvas hipsométricas. Relación con edad y proceso erosivo de una cuenca.

Histograma de frecuencias altimétricas: indica en forma porcentual el área comprendida entre dos alturas determinadas. El promedio de las alturas es considerado como marca de clase. Para la cuenca del río El Rosario el rango de altura con mayor frecuencia contó con 12% del área total, siendo este el correspondiente a alturas con valores entre 0-72 m.s.n.m.

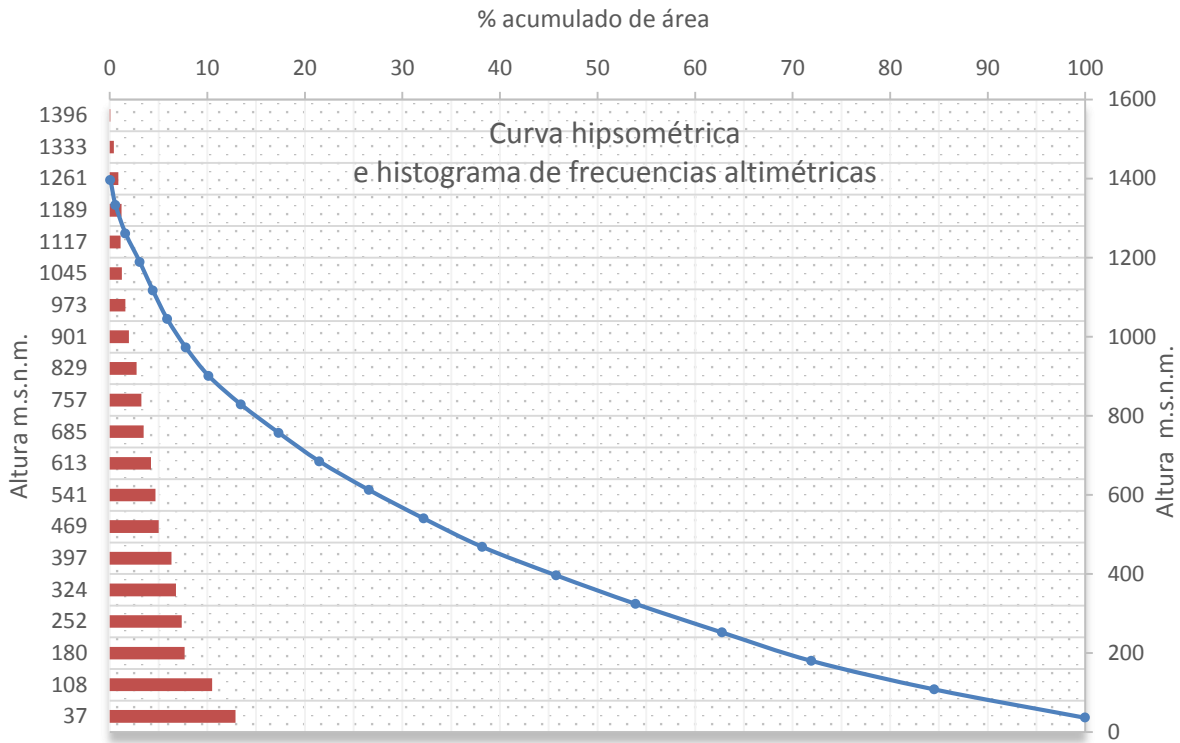


Figura 9. Curva Hipsométrica- Histograma de frecuencias altimétricas de la cuenca del río El Rosario.

La curva hipsométrica para la cuenca del río El Rosario, muestra que esta se encuentra en una etapa entre equilibrio y sedimentaria, es decir pasando de una fase de madurez a vejez. Además que posee una altura media de 324 m.s.n.m.

## Modelación Hidrológica

Con la modelación hidrológica se consigue la determinación del hidrograma o caudal en un punto de interés de la cuenca en estudio, esto se realiza mediante la transformación lluvia-escorrentía. El hidrograma generado se ingresa en el modelo hidráulico para determinar los tirantes máximos para los diferentes periodos de retorno. Dichos tirantes se utilizan como umbrales de niveles de río para implementarse en el Sistema de Alerta Temprana en la cuenca del Río El Rosario.

La modelación hidrológica se realizó en el software HEC-HMS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, con el que se simula la respuesta de una cuenca ante una precipitación y arroja un hidrograma en un punto de interés.

Dicho software trabaja con cuatro métodos: pérdidas, transformación de lluvia-escorrentía, adición del flujo base y tránsito de hidrograma.

Se determinan además los parámetros hidrológicos, datos necesarios para analizar el comportamiento de una cuenca, ya que estos permiten estimar el tiempo y el caudal pico en un hidrograma unitario y pérdidas (infiltración) por medio del Número de Curva (CN).

### 1.5. Modelación de la cuenca

Con la finalidad de obtener una mejor simulación de la respuesta de la cuenca ante tormentas de fuerte intensidad, se realizó con GeoHMS una subdivisión de cuencas, permitiendo calcular parámetros hidrológicos necesarios en el modelo HEC-HMS.

Para cada subcuenca se calculó el tiempo de concentración, el número de curva (CN por sus siglas en inglés) y constante de recesión para el flujo base, permitiendo estos parámetros hidrológicos simular el efecto de transformación de lluvia-escorrentía.

Subcuenca	Tiempo de Concentración (Min)	Número de curva (condición antecedente húmedas)
W240	167	77.49
W230	170	79.05
W200	240	67.41
W180	146	73.13

Tabla 4: Parámetros hídricos



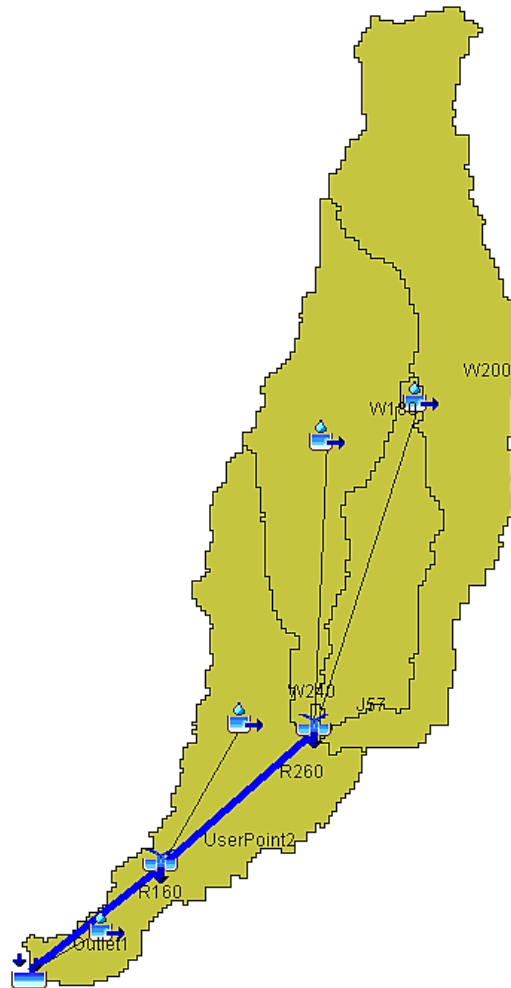


Figura 10. Modelo de cuenca en HEC-HMS.

## 1.6. Determinación de hietograma de diseño

Mediante un análisis de datos de lluvia se realiza la determinación de hietogramas de diseño para los distintos periodos de retorno. El proceso llevado a cabo se basa en el estudio “Relaciones entre Láminas de Lluvia en El Salvador” y “Distribución Temporal de Lluvias en El Salvador” (Erazo, 2011), en el que se hizo un trabajo estadístico de la información pluviométrica y pluviográfica, para establecer relaciones de lluvia máxima de un día pluviométrico con lluvias máximas con duraciones de 24 horas y menores.

También se estableció la distribución temporal típica de las lluvias en el país para diferentes duraciones, obteniéndose como resultado a nivel nacional un mapa para un día de precipitación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 300 años. Se obtuvieron precipitaciones promedio por cada subcuenca mostrada en la Figura 10, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 300 años.

Período de retorno	W180	W200	W230	W240
<b>2</b>	112.050357	109.684865	120.829878	117.571634
<b>5</b>	164.848755	161.184532	173.092962	169.817577
<b>10</b>	199.866959	195.21442	207.532624	204.414931
<b>20</b>	233.571159	227.906479	240.387346	237.464691
<b>25</b>	244.186773	238.260942	250.750082	247.901327
<b>50</b>	276.83291	270.229125	282.821335	280.147431
<b>100</b>	309.136814	301.904468	314.669551	312.168243
<b>200</b>	341.567078	333.34511	346.403813	344.085181
<b>300</b>	365.501176	356.462989	369.72432	367.578872
<b>DT12E</b>	1242.80669	1227.78856	987.59956	1128.91023

Tabla 5: Precipitación máxima para 1 día y diferentes periodos de retorno.

Estas precipitaciones deben ser ajustadas con un factor de intervalo fijo de observación igual a 1.14, obteniendo magnitudes de precipitación más cercanas a las obtenidas con lluvias verdaderas. Correspondiendo a precipitaciones de 24 horas (1 día).

Período de retorno	W180	W200	W230	W240
<b>2</b>	127.737407	125.040746	137.74606	134.031663
<b>5</b>	187.92758	183.750366	197.325977	193.592038
<b>10</b>	227.848334	222.544439	236.587191	233.033021
<b>20</b>	266.271121	259.813386	274.041575	270.709747
<b>25</b>	278.372921	271.617474	285.855093	282.607512
<b>50</b>	315.589517	308.061202	322.416322	319.368071
<b>100</b>	352.415968	344.171093	358.723288	355.871797
<b>200</b>	389.386469	380.013425	394.900347	392.257106
<b>300</b>	416.671341	406.367807	421.485725	419.039914
<b>DT12E</b>	1416.79963	1399.67896	1125.8635	1286.95766

Tabla 6: Precipitaciones máximas afectadas por intervalo fijo de observación.

Estas precipitaciones de 24 horas, se redujeron a una duración de dos horas (120 minutos), debido a que esta última duración es la característica de aguaceros típicos en la región.

Período de retorno	W180	W200	W230	W240
<b>2</b>	66.4234515	65.0211882	71.6279514	69.6964649
<b>5</b>	97.7223418	95.5501905	102.609508	100.66786
<b>10</b>	118.481134	115.723108	123.025339	121.177171
<b>20</b>	138.460983	135.102961	142.501619	140.769069
<b>25</b>	144.753919	141.241087	148.644648	146.955906
<b>50</b>	164.106549	160.191825	167.656488	166.071397
<b>100</b>	183.256304	178.968969	186.53611	185.053334
<b>200</b>	202.480964	197.606981	205.348181	203.973695
<b>300</b>	216.669097	211.31126	219.172577	217.900755
<b>DT12E</b>	736.735809	727.833059	585.449019	669.217982

Tabla 7: Precipitación máxima para una duración de dos horas.

En cuencas grandes, debido a que la lluvia no se genera con la misma simultaneidad en toda el área, se hace una reducción de los valores de la Tabla 7, sin embargo debido a que el área de la cuenca estudiada no es grande, no será aplicado un factor de reducción por área. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012/2013).

La distribución temporal de las lluvias fue determinada con el estudio “Distribución Temporal de Lluvias en El Salvador” (Erazo, 2011), en el que se estableció a partir de un análisis estadístico, la distribución típica de las lluvias en el país para duraciones promedio de dos horas. Esta distribución fue realizada con cada uno de los periodos de retorno. En la siguiente tabla se muestra el cálculo correspondiente a la cuenca W180 como ejemplificación.

Período de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	300 años	DT12E
PC por un día	66.42	97.72	118.48	144.75	164.11	183.26	202.48	216.67	736.73
Intervalo	Precipitación (mm) para cada intervalo								
00:15	10.06	14.81	17.95	21.93	24.86	27.77	30.68	32.83	111.63
00:30	28.58	42.05	50.98	62.29	70.62	78.86	87.13	93.23	317.02
00:45	13.28	19.54	23.70	28.95	32.82	36.65	40.50	43.33	147.35
01:00	6.04	8.88	10.77	13.16	14.92	16.66	18.41	19.70	66.98
01:10	4.03	5.92	7.18	8.77	9.95	11.11	12.27	13.13	44.65
01:30	2.01	2.96	3.59	4.39	4.97	5.55	6.14	6.57	22.33
01:45	1.21	1.78	2.15	2.63	2.98	3.33	3.68	3.94	13.40
02:00	1.21	1.78	2.15	2.63	2.98	3.33	3.68	3.94	13.40

Tabla 8: Distribución temporal para la subcuenca W180.

Hietrograma de diseño W180, 200 años.

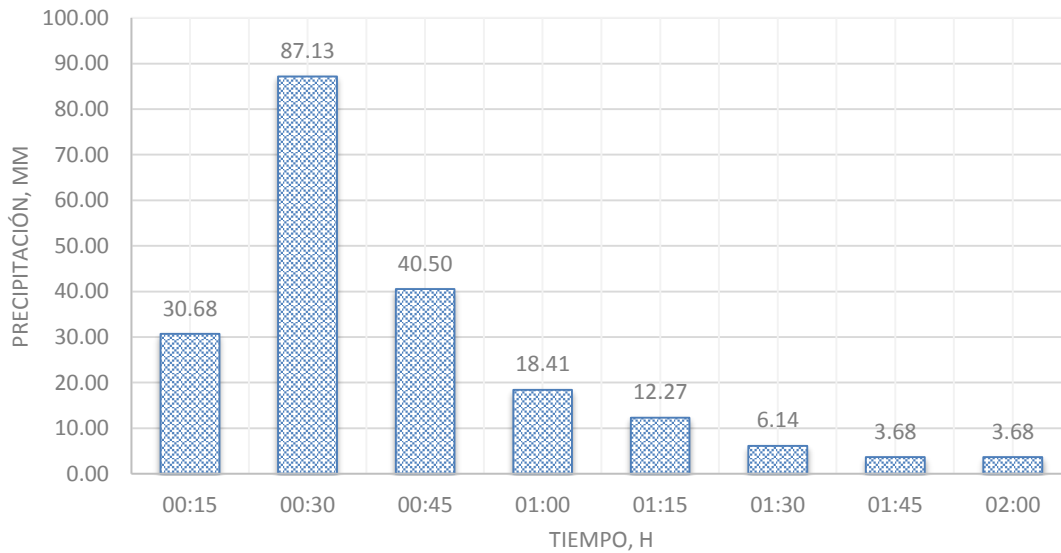


Figura 11. Hietrograma de diseño para subcuenca W180 y Tr=200 años.

## 1.7. Resultados

Posterior a la introducción de los hietogramas en el modelo HEC-HMS, se obtuvieron los hidrogramas de diseño en el punto de interés del río El Rosario. El caudal máximo generado por el modelo hidrológico, se ingresó al modelo hidráulico en HEC-RAS y posteriormente se realiza una evaluación de los tirantes generados por todos los periodos de retorno, obteniéndose umbrales de nivel de río y posteriormente de lluvia.

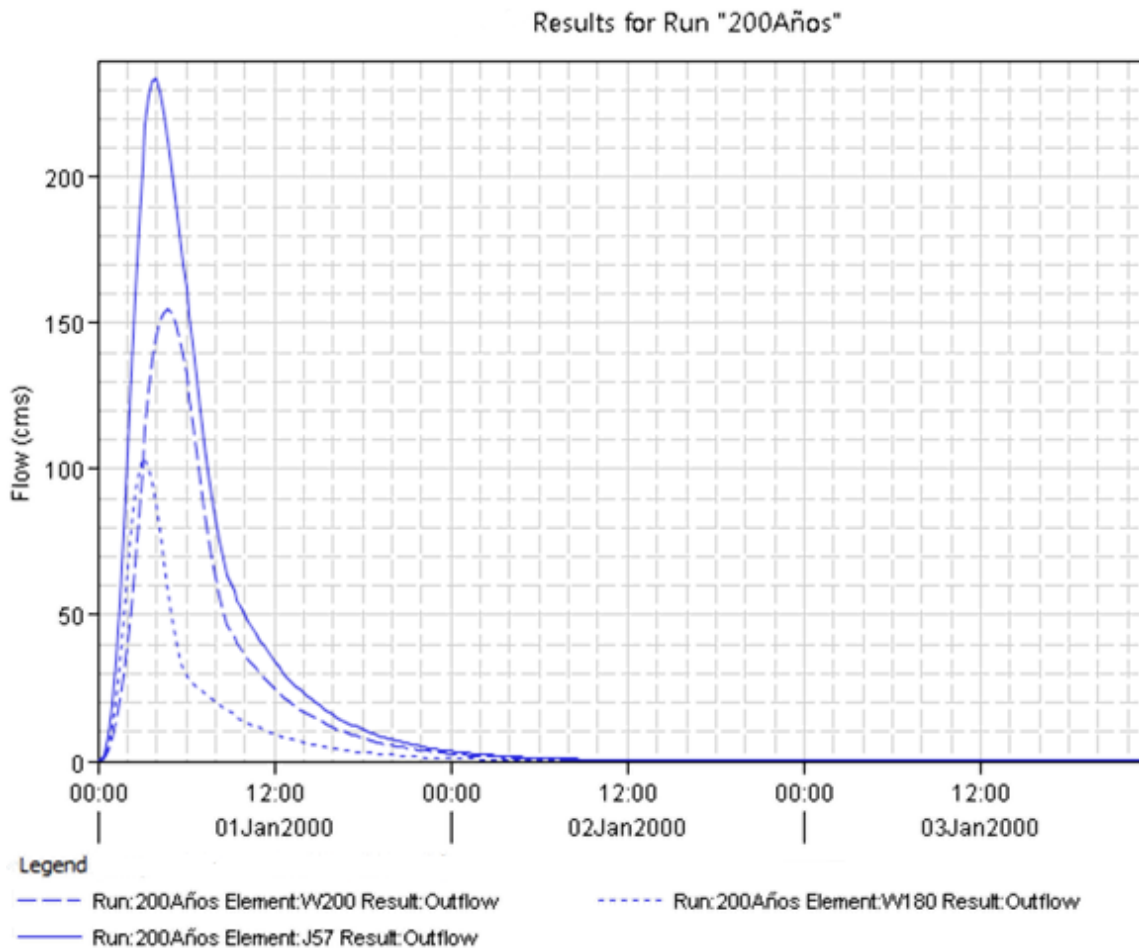


Figura 12: Hidrograma de diseño en confluencia de río El Rosario y río El Diamante, para un  $Tr = 200$  años.

## Modelación Hidráulica

Con los resultados de la modelación hidrológica, es decir los caudales de diseño para periodos diferentes, se trabajó el modelo hidráulico en el software libre HEC-RAS, con el que se evaluaron los valores de umbral de nivel de río, por medio de los tirantes generados por un hidrograma de entrada; para lo cual se consideraron las condiciones propias de la cuenca, tales como coeficiente de rugosidad, pendiente del cauce, etc.

Con un modelo digital de elevaciones se obtuvieron las secciones transversales del río en las zonas que se consideraron de interés en el estudio, y en las que pudiera colocar una mira de colores, cuya finalidad sea la de servir como guía para la población cercana al río, en el seguimiento de protocolos de acción del Sistema de Alerta Temprana.

### 1.8. Resultados

Ingresado el caudal de diseño y los parámetros hidráulicos, se obtuvieron los tirantes máximos de cada período de retorno.

En la sección transversal de la Figura 13, se observa la sección transversal correspondiente a la zona de puente de carretera El Litoral. Observándose que para periodos de retorno mayores a 5 años el río alcanza un nivel que podría generar peligro para las personas que transitan por él, aunque este no llegue a niveles de desbordamiento.

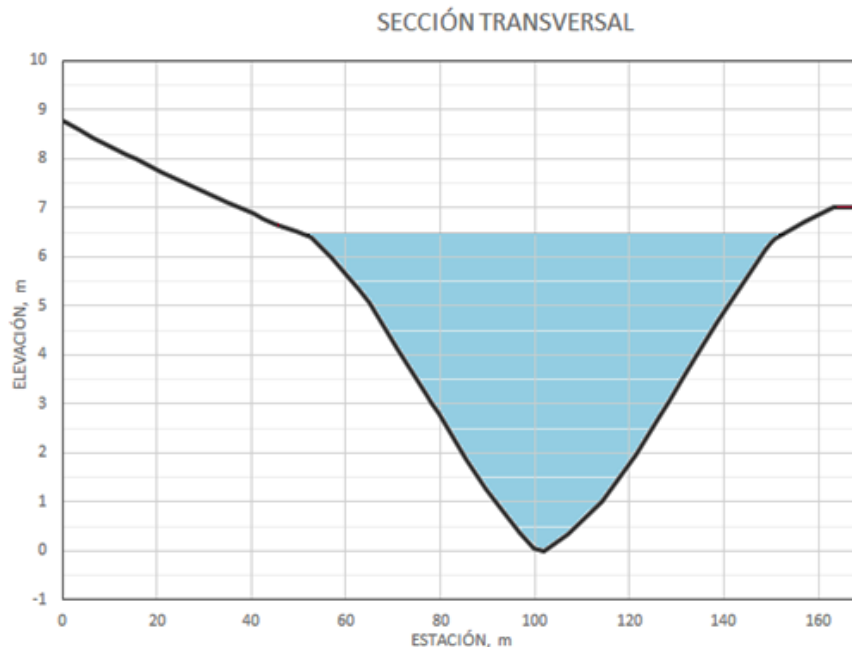


Figura 13. Sección transversal en río El Rosario, cercana a puente sobre carretera El Litoral, para un período de retorno de cinco años.

## Generación de umbrales de río

Estos umbrales son determinados mediante el análisis de los diferentes tirantes obtenidos en los periodos de retorno estudiados, extrayéndose el periodo que genera desbordamiento del cauce del río de forma local y aguas abajo, en las cercanías del puente sobre carretera El Litoral.

La colocación de las miras de colores se realizarán en las cercanías de este puente, siendo estos sitios claves para el monitoreo presencial del río, lo que permitiría la activación de los protocolos de acción, implicando el cierre del paso y el aviso aguas abajo si se considera una repunta probable.

Dentro de los Sistemas de Alerta Temprana, se definen etapas de monitoreo, aviso y emergencia (Figura 12). Para el río El Rosario se definen estas etapas en base al período de retorno que produce problemas de desbordamiento, siendo este el de cinco años, por lo que se trabajara con los umbrales de periodos de dos y cinco años.

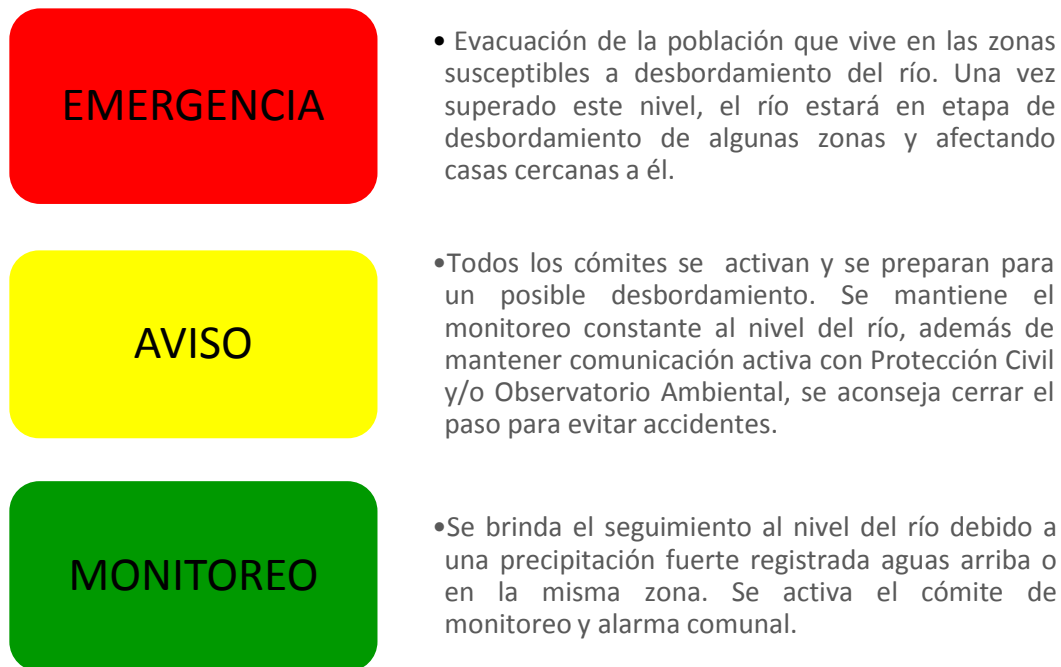


Figura 14. Niveles de alerta en el Sistema de Alerta Temprana en río El Rosario.

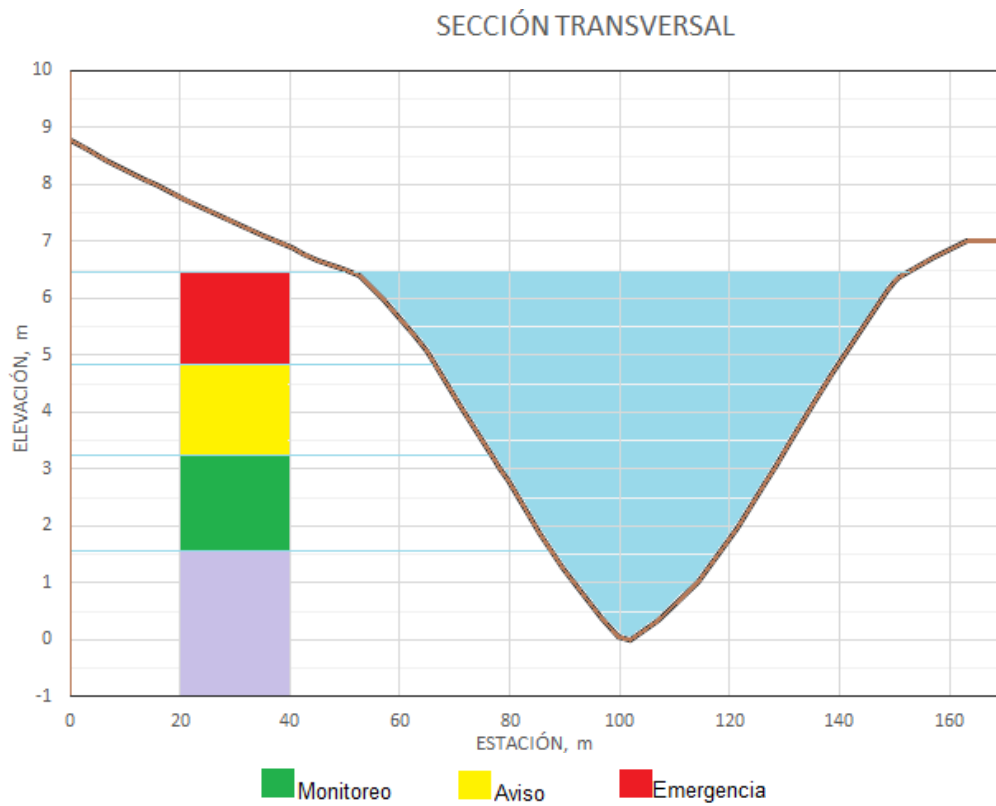


Figura 15. Umbrales de nivel de río El Rosario.

Lugar propuesto	Monitoreo	Aviso	Emergencia
Cantón ABC	1.60 m	3.25 m	4.80 m



Tabla 9: Umbrales de nivel de río El Rosario, sección en cercanías de puente sobre carretera El Litoral.



## Generación de umbrales de precipitación

Los umbrales de precipitación son utilizados para obtener una respuesta anticipada de la cuenca a través de un valor de precipitación registrado dentro de ella o en los alrededores. Se determinó en la sección anterior que para períodos de cinco años se comenzaban a presentar problemas de desbordamiento, por lo que se extrajo la precipitación de 24 horas de la Tabla 6, disgregándose esta precipitación en intervalos de hora basado en el análisis “Distribución temporal de lluvias en El Salvador” (Erazo, 2011), posteriormente se ordenó la precipitación horaria resultante de menor a mayor, generándose una curva de precipitación acumulada.

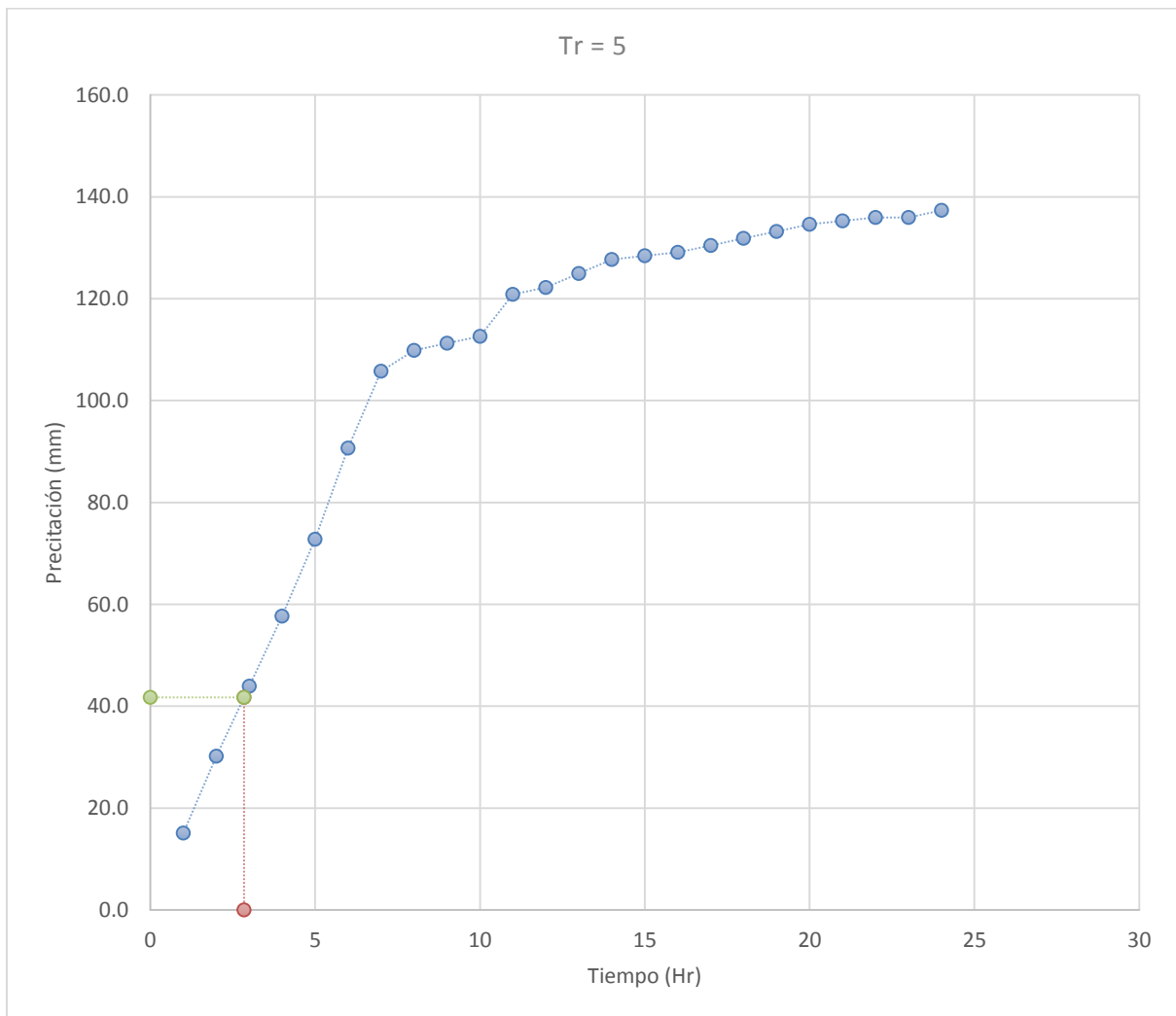


Figura 16. Curva de precipitación acumulada con Tr = 5 años.

Con la curva generada y el tiempo de concentración en el cauce del río hasta el punto donde se colocará la mira; se determinó el valor de precipitación correspondiente al umbral de precipitación para el período de retorno analizado, para un tiempo de concentración de 2.84 horas.

Con este valor de precipitación, se puede determinar los umbrales adecuados a cada etapa de vigilancia del Sistema de Alerta Temprana.

Duración	Monitoreo	Aviso	Emergencia
24 horas	21 mm	31 mm	42 mm

Tabla 10. Umbrales de precipitación en la cuenca del río El Rosario.

Nota:

El umbral determinado, corresponde al punto de interés en el que se encuentra una obra de paso, por lo que este umbral implica peligro para la población que lo cruza. Por tanto al alcanzarse este nivel se debe de mantener un monitoreo contante ya que si se mantienen las condiciones de lluvia en la zona, la probabilidad de desbordamiento es alta. Este umbral indica entonces el cierre del paso por esa zona, no un umbral de desbordamiento.

## Red de Observadores Locales

Esta red es conformada por los pobladores de las zonas susceptibles a inundación y por pobladores de zonas más altas a estas que dan información de las condiciones meteorológicas en sus lugares de residencia.

Un observador local es receptor de toda la información que es emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pero además es un emisor de información de interés para el Ministerio.

Para la zona del río El Rosario esta red aún se debe de fortalecer para la incorporación de un mayor número de integrantes activos en la misma con la finalidad de comunicarles información de relevancia para sus localidades, proponiéndose la incorporación de población y de instituciones.

<b>Nombre</b>	<b>Teléfono</b>	<b>Comunidad</b>
Alcaldía Municipal de Jujutla	24 20 08 59	Jujutla

Tabla 11. Red de Observadores Locales en río El Rosario.

## Bibliografía

UNESCO, 2012. Sistemas de Alerta Temprana, 10 preguntas y 10 respuestas para la comunidad educativa de Panamá. San José, Costa Rica: s.n.

Campos Aranda, Daniel Fco, 1992. Procesos del ciclo hidrológico, México: Editorial Universitaria Potosina

Delgadillo Santander, Alejandro – Moreno Barrios, Ada, s.f. Hidrología, s.l.: s.n.

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.