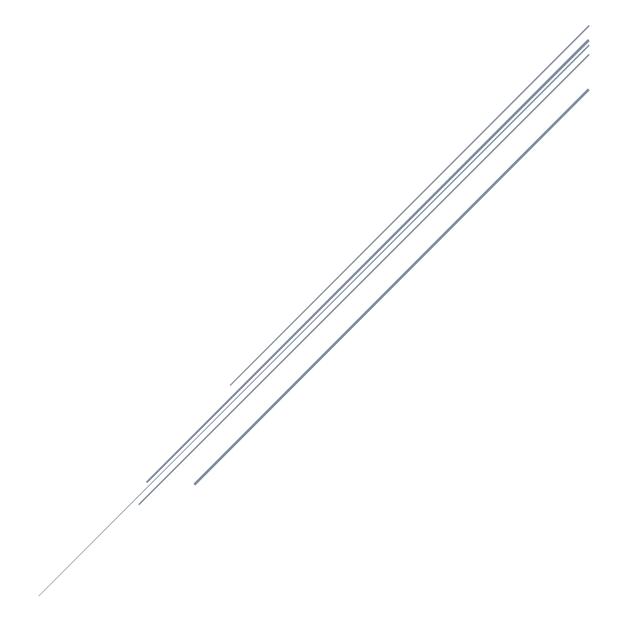
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES

Cuenca Río Huiza



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





Contenido

Introd	lucción5
Carac	terización en el Área de Estudio6
a.	Ubicación6
b.	Geología
c.	Hidrografía
d.	Clima8
e.	Precipitación9
f.	Evapotranspiración Potencial
g.	VegetaciónII
h.	Características Geomorfológicas
i.	Área de la Cuenca
j.	Tipo de Suelos
k.	Uso de Suelos
l.	Conflicto de Uso de Suelo
m.	Orden de corriente
n.	Densidad de drenaje
0.	Forma de las cuencas
p.	Pendiente media de la cuenca
q.	Pendiente media del cauce principal
r.	Curva Hipsométrica21
S.	Histograma de Frecuencias Altimétricas





Mode	lación hidrológica	. 23
a.	Modelo de Cuenca	. 24
b.	Determinación de hietogramas de diseño	. 25
c.	Resultados	. 28
Mode	lación Hidráulica	. 29
a.	Resultados	. 29
Gene	ración de Umbrales de Río	. 30
Gene	ración de Umbrales de Precipitación	. 31
Red c	le Observadores Locales	. 32
Propu	uesta de Sitios Para Instalación de Pluviómetros	. 33
Traba	ios citados	35





Índice de Figuras

Figura I: Mapa de Sistemas de Alerta Temprana por Inundación en El Salvador	5
Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río San Huiza	6
Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río San Huiza	7
Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río Huiza	8
Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río Huiza	9
Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001)	0
Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001) I	I
Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca Huiza	2
Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca Río HuizaI	3
Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003 I	4
Figura II: Uso de Suelos en Cuenca del Río HuizaI	5
Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río Huiza	6
Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca del Ríc HuizaI	
Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río Huiza2	0
Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río Huiza2	I
Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Huiza2	. 1
Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río Huiza2	2
Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS2	4
Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para I día y un Periodo de Retorno de 100 año	
Figura 20: Hietograma de Diseño para Subcuenca W100 y un Tr = 100 años2	8





Figura 21: Hidrograma de diseño en Cantón Melara con un Tr = 100 años	. 28
Figura 22: Sección Transversal en Río Huiza en Cantón Melara con un Periodo Retorno 10 años	
Figura 23: Niveles de Alerta en el Sistema de Alerta Temprana en Río Huiza	. 30
Figura 24: Umbrales de Nivel de Río en Cantón Melara	. 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 I: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río Huiza	. 18
Tabla 2: Valor del factor de forma "Kf" en la cuenca Río Huiza	. 18
Tabla 3: Valores de Índice de Gravelius en la Cuenca del Río Huiza	. 19
Tabla 4: Parámetros calculados en la Cuenca del Río Huiza	. 23
Tabla 5: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca Río Huiza	. 25
Tabla 6: Precipitación Máxima para I día y diferentes Periodos de Retorno	. 25
Tabla 7: Precipitaciones Máximas por Intervalo Fijo de Observación	. 26
Tabla 8: Precipitación Máxima para una duración de 2 horas	. 27
Tabla 9: Precipitación Máxima por factor de Reducción de Área	. 27
Tabla 10: Distribución Temporal para la Subcuenca W100 y un Tr = 100 años	. 27
Tabla II: Umbrales de Nivel de Río Huiza Cantón Melara	. 31
Tabla 12: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río Huiza	. 32
Tabla 13: Red de Observadores Locales en Río Huiza	. 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 reforzar a la cuenca del Río Huiza, en la red de Sistemas de Alerta Temprana implementados anteriormente, con el fin de mejorar la alerta anticipada y proteger la vida y la propiedad ante las amenaza de eventos hidrometeorológico.



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





CARACTERIZACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

a. Ubicación

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

El Río Huiza nace en los alrededores de la cordillera del Bálsamo y transita los municipios de San Marcos, Huizucar y San Jose Villanueva hasta desembocar en el cantón Bocana Toluca, el cual pertenece al municipio del Puerto de La Libertad.

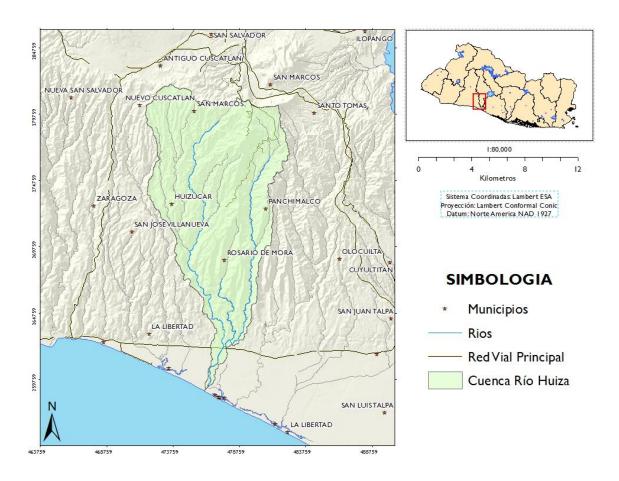


Figura 2: Mapa de Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Río San Huiza





b. Geología

De acuerdo a la geología dentro del río Huiza: la formación geológica predominante es la formación del Bálsamo, la cual está formada por aglomerados, lavas básicas a intermedias con intercalación de fanglomerados y límolitas. La segunda formación geológico predominante es la formación de Cuscatlán, la cual está constituida principalmente por ignimbritas. Otra formación geológica es la de San Salvador, la cual es la más reciente de las 3 y está conformado por piroclastos ácidos, tobas color café y materiales aluvionales. (Gobierno de la Republica de El Salvador - Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo, 1981)

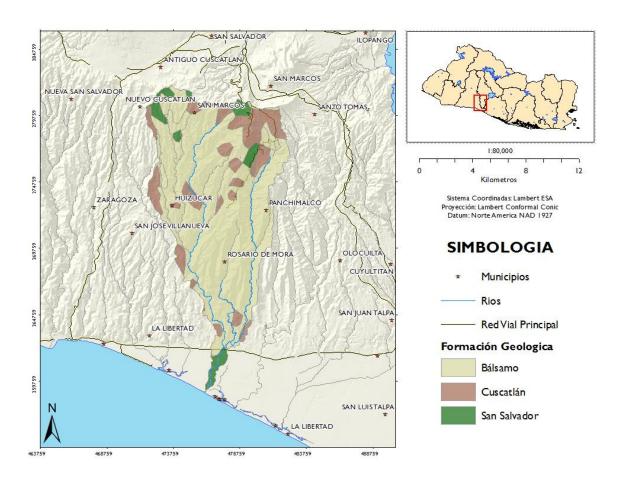


Figura 3: Mapa Geológico en la Cuenca del Río San Huiza

c. Hidrografía

La red hídrica que contiene a la cuenca del Río Huiza nace en la cordillera del Bálsamo, apróximamente a los 1,500 m.s.n.m. y tiene como afluente principal a los Ríos Obraje y El Muerto. El tipo de cuenca es exorreica, ya que el punto de salida se encuentra se encuentra en el mar. Asimismo, el tipo de drenaje es dendrítico, con un ángulo de llegada menor a los





90 grados. El drenaje en la zona baja se torna muy dinámico, debido a la consistencia del material aluvial denominado como planicie costera, por el cual el cauce del río tiende a cambiar constantemente.

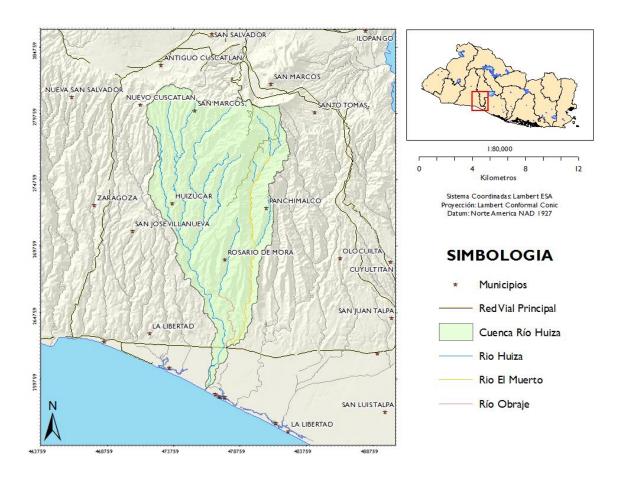


Figura 4: Mapa de Sistema de Drenaje Hídrico de la Cuenca Río Huiza

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.

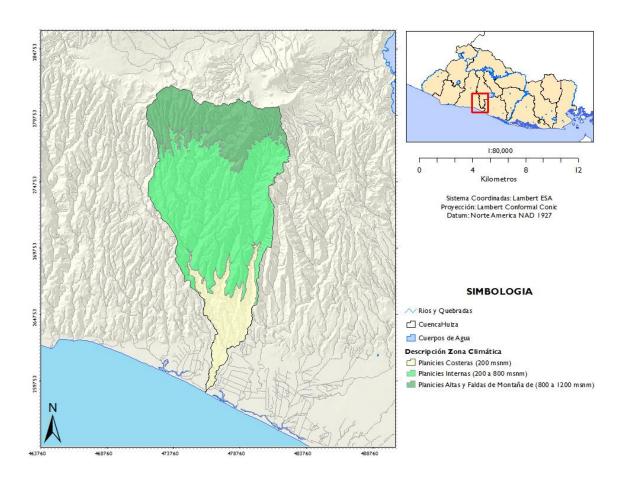


Figura 5: Mapa de Zonas Climáticas en Cuenca Río Huiza

e. Precipitación

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





un máximo anual de 1,922 mm, un mínimo anual de 1,793 mm y un promedio anual de 1,857 milímetros de precipitación.

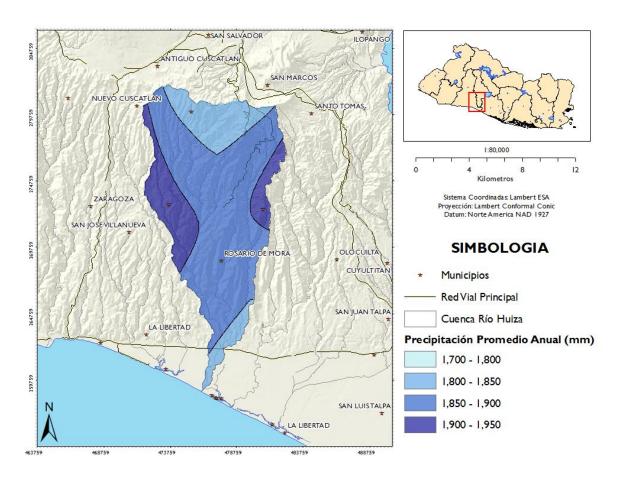


Figura 6: Mapa de Precipitación Promedio Anual (1971-2001)

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 1,748mm, así como un valor máximo de evapotranspiración potencial de 1,862 mm y 1,682 mm como valor mínimo.





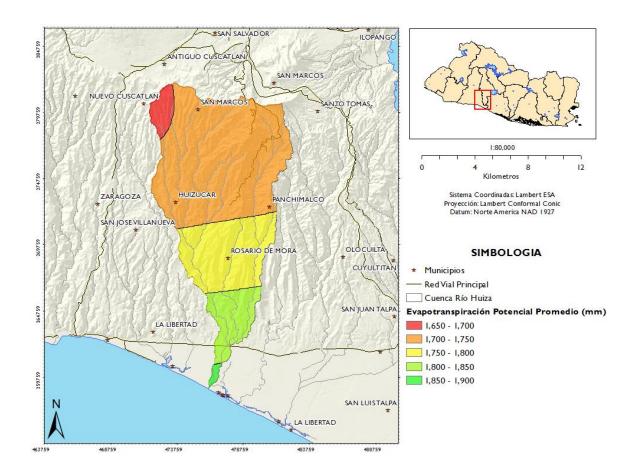


Figura 7: Mapa de Evapotranspiración Potencial Promedio Anual (1971-2001)

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 en la parte alta de la cuenca, se encuentra zonas de vegetación para cultivos permanentes, tales como café. De igual forma en la parte baja se encuentra extensas áreas de zonas de cultivos o mezclas de sistemas productivos, entre los que destacan los cultivos de caña de azúcar, muy característicos en esta zona.





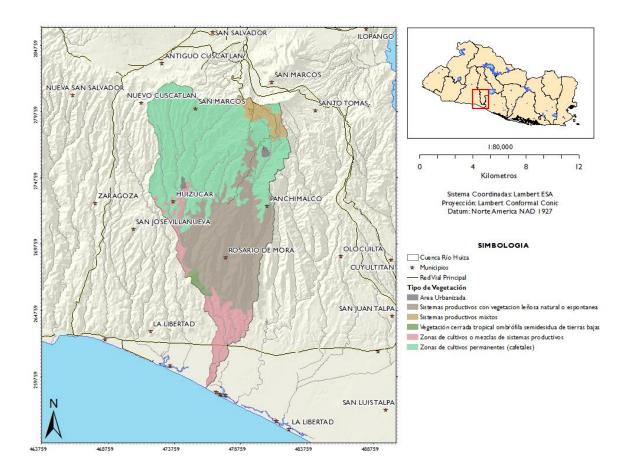


Figura 8: Mapa de Vegetación en la Cuenca Huiza

h. Características Geomorfológicas

Las características geomorfológicas de las cuencas afectan en la relación precipitaciónescurrimiento. 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 Huiza es de 136.36 km² y con un perímetro de 82.51 km.





j. Tipo de Suelos

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

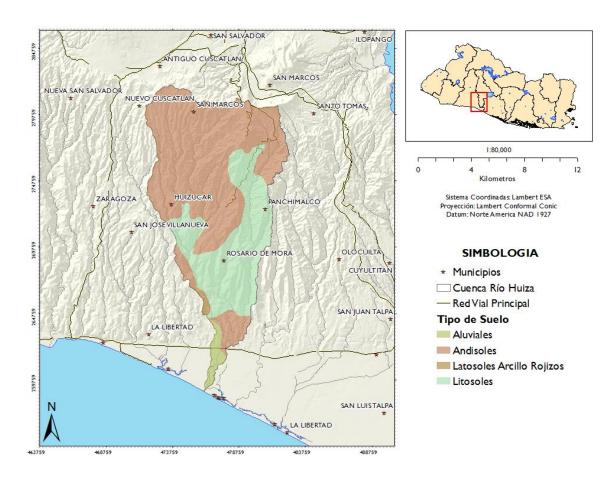


Figura 9: Mapa Pedológico Cuenca Río Huiza

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.





<u>Latosoles Arcillo Rojizo</u>

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

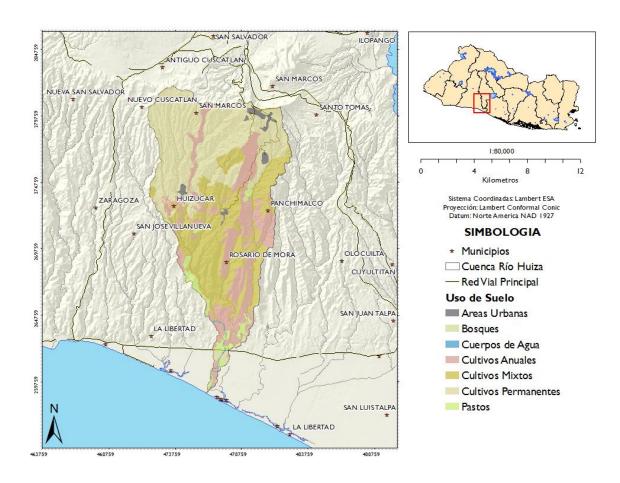


Figura 10: Mapa de Uso de Suelo conforme a la Clasificación Corine Land Cover, 2003

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 el área





de estudio, un 37% de área de la cuenca con una clasificación de uso de suelo en cultivos de café, 23% 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 Río Huiza 2.1 1.4 1.5 20.9 37.1 5.9 4.4 23.8 0.7 ■ Arboles Frutales ■ Bosque Caducifolio Bosque de Galeria ■ Café ■ Caña de Azucar ■ Cultivos Anuales Asociados con Cultivos ■ Granos Basicos ■ Mosaico de Cultivos y Pastos Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación ■ Pastos Cultivados ■ Pastos Naturales Ríos Tejido Urbano Continuo Tejido Urbano Discontinuo

Figura II: Uso de Suelos en Cuenca del Río Huiza

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.





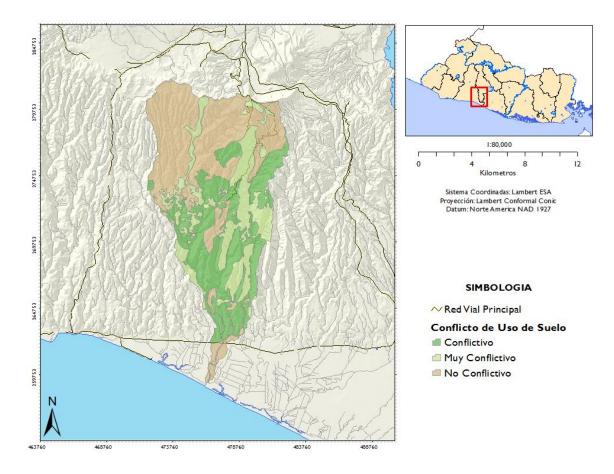


Figura 12: Mapa de Conflictos de Uso de Suelos. Cuenca Río Huiza

m. Orden de corriente

El orden de corriente es una clasificación que se brinda a los diferentes cauces y que toman un determinado valor, de acuerdo al grado de bifurcación. Adicionalmente, el orden de corriente se relaciona con el caudal relativo del segmento del canal. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida. Por ejemplo: en la Figura 13 se muestra el orden de corriente encontrado para la cuenca del Río Huiza usando el método de Strahler (1952), el cual es de 5





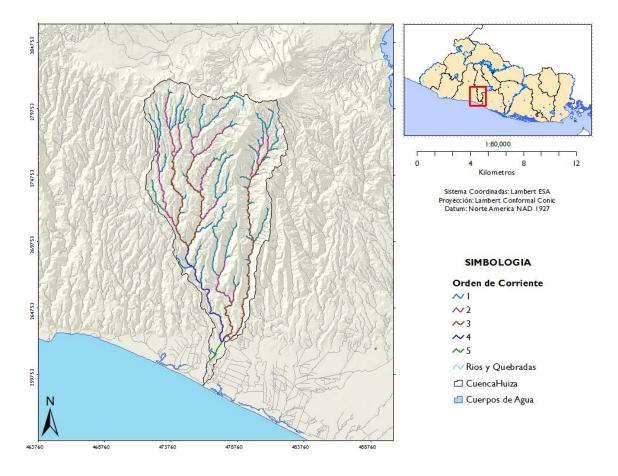


Figura 13: Mapa de Orden de Corriente por el Método de Strahler de la Cuenca del Río Huiza

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 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 Huiza se muestra en la Tabla





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

Cuenca	Årea	Longitud	Densidad Drenaje
	(km²)	(km)	(km/km²)
Huiza	136.36	163.63	1.20

Tabla I: Valores de la Densidad de Drenaje en la Cuenca Río Huiza

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 ($K_f = I$). 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 (km²)	Longitud (km)	Factor de Forma "K _f "
Huiza	136.36	29.35	0.16

Tabla 2: Valor del factor de forma "Kf" en la cuenca Río Huiza

• <u>Índice de Gravelius</u>

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 I 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 I, indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a I.

Cuenca	Área (km²)	Perímetro (km)	Índice de Gravelius "Kç"
Huiza	136.36	82.51	1.99

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

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 Huiza es de 19.32% en donde se puede observar zonas de pendiente mayores a 50% en las zonas altas y medias de la cuenca. Asimismo, se observa pendientes menores a 25% en la zona de las planicies costeras y desembocadura.





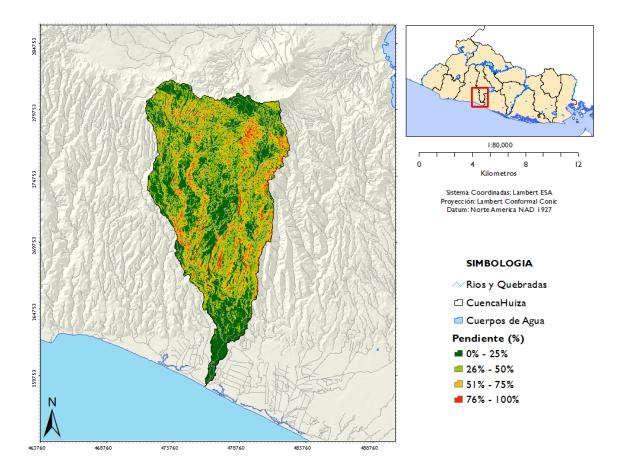


Figura 14: Mapa de Pendiente en la cuenca del Río Huiza

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 Huiza es de 3.30%, dicho valor se ve disminuido en la zona baja ya que es una zona de planicie costera y sus pendientes son muy bajas. Esta zona de pendiente baja es un área de recepción de material sedimentario que arrastre el río desde la parte alta (pendiente altas entre 8%-12%)





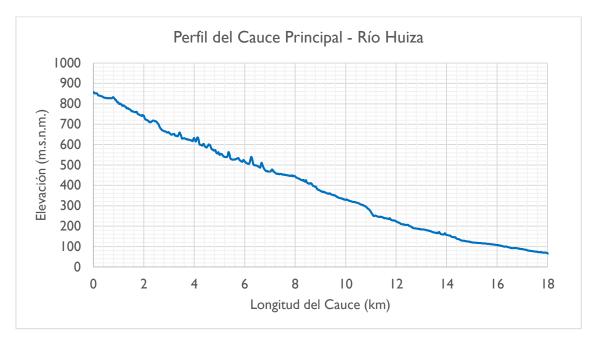


Figura 15: Perfil Longitudinal del Cauce Principal Río Huiza

r. Curva Hipsométrica.

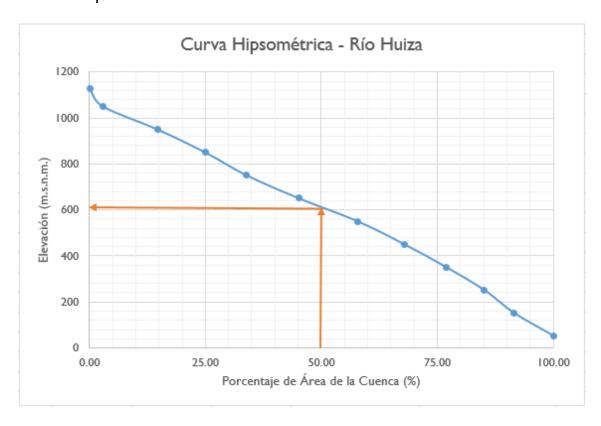


Figura 16: Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Huiza





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

En la cuenca del río Huiza la curva hipsométrica refleja una edad del río entre viejo-maduro y una altura mediana de la cuenca de 600 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.

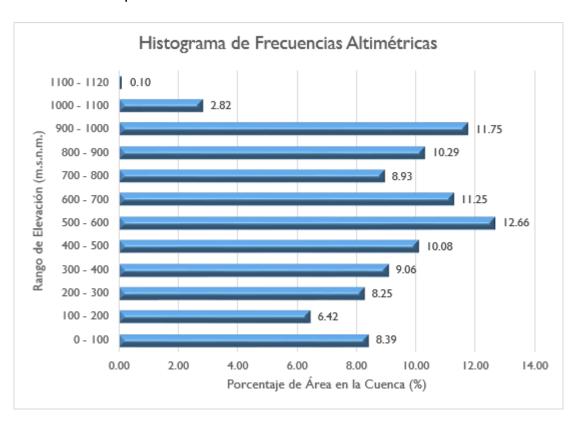


Figura 17: Histograma de Frecuencias Altimétricas en la Cuenca Río Huiza





VARIABLE	PARAMETRO	VALOR
	Área (km²)	136.36
Parámetros de	Perímetro (km)	82.51
Forma	Índice de Gravelius (K _c)	1.99
	Factor de Forma (K _f)	0.16
	Cota máxima (msnm)	1,150
	Cota mínima (msnm)	5
	Desnivel altitudinal (msnm)	1,145
Parámetros de	Pendiente Media (%)	19.72
Relieve	Altura más frecuente (msnm)	500 - 600
	Altura Mediana	600
	Longitud de cauce principal (km)	29.35
	Longitud de cauce en la cuenca (km)	163.63
	Densidad de drenaje	1.20
Parámetros de	Elevación máxima del cauce (msnm)	858.09
cauce principal	Elevación mínima del cauce (msnm)	5
cauce principal	Pendiente media del cauce (%)	3.30
	Orden de cuenca	5

Tabla 4: Parámetros calculados en la Cuenca del Río Huiza

MODELACIÓN HIDROLÓGICA

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

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

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





a. Modelo de Cuenca

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

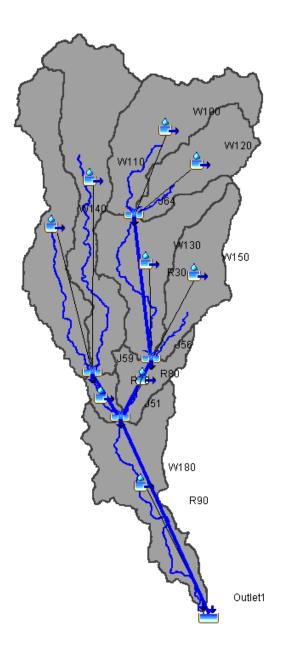


Figura 18: Modelo de Cuenca en HEC-HMS





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

Subcuenca	Tiempo de Concentración (Min)	Número de Curva (condición antecedente húmedas)
W180	78.24	84.54
W170	16.94	86.70
W160	36.49	83.49
W150	47.52	81.80
W140	77.04	76.22
W130	54.02	79.08
W120	43.02	73.85
WII0	88.93	76.12
W100	66.44	76.36

Tabla 5: Parámetros Hidrológicos en la Cuenca Río Huiza

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 I 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 I día de precipitación para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 300 años.

	WI00	WIIO	W120	W130	W140	W150	W160	W170	W180
2 años	108.34	109.05	108.04	109.66	109.54	108.36	108.64	109.16	106.49
5 años	157.52	156.05	156.29	154.41	155.30	152.25	149.27	149.67	143.22
10 años	188.65	187.11	188.13	184.76	186.47	181.45	175.79	176.20	166.76
25 años	228.61	226.15	228.13	222.49	225.21	218.03	209.16	209.62	194.04
50 años	261.81	256.42	258.42	250.47	254.17	245.06	233.74	234.22	217.51
100 años	292.12	285.54	288.04	278.15	282.79	271.80	258.10	258.59	238.80
200 años	322.21	314.41	317.56	305.52	311.13	298.42	282.31	282.82	259.95
300 años	343.77	335.69	339.24	325.76	332.22	318.02	300.13	300.71	275.37

Tabla 6: Precipitación Máxima para I día y diferentes Periodos de Retorno

Para la cuenca del Río Huiza 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.





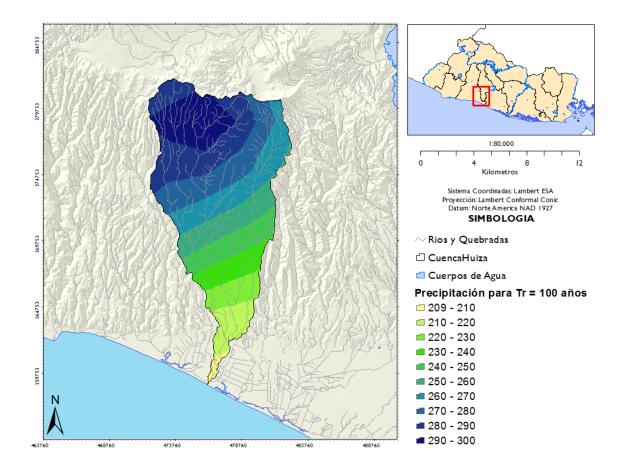


Figura 19: Mapa de Precipitación Máxima para 1 día y un Periodo de Retorno de 100 años

Los valores mostrados en la Tabla 6 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.

	W100	WII0	W120	W130	W140	W150	W160	W170	W180
2 años	123.51	124.32	123.17	125.01	124.88	123.53	123.85	124.44	121.40
5 años	179.57	177.90	178.17	176.03	177.04	173.57	170.17	170.62	163.27
10 años	215.06	213.31	214.47	210.63	212.58	206.85	200.40	200.87	190.11
25 años	260.62	257.81	260.07	253.64	256.74	248.55	238.44	238.97	221.21
50 años	298.46	292.32	294.60	285.54	289.75	279.37	266.46	267.01	247.96
100 años	333.02	325.52	328.37	317.09	322.38	309.85	294.23	294.79	272.23
200 años	367.32	358.43	362.02	348.29	354.69	340.20	321.83	322.41	296.34
300 años	391.90	382.69	386.73	371.37	378.73	362.54	342.15	342.81	313.92

Tabla 7: Precipitaciones Máximas por Intervalo Fijo de Observación

Una vez calculado la precipitación por intervalo fijo de observación se reducirá esa precipitación de 24 horas (I día) a una duración de 2 horas (I20 minutos), ya que refleja la





duración característica de aguaceros típicos en la región y por lo tanto resulta adecuado para el análisis.

	W100	WIIO	W120	W130	W140	W150	W160	W170	W180
2 años	64.22	64.64	64.05	65.01	64.94	64.24	64.40	64.71	63.13
5 años	93.38	92.51	92.65	91.53	92.06	90.25	88.49	88.72	84.90
10 años	111.83	110.92	111.52	109.53	110.54	107.56	104.21	104.45	98.86
25 años	135.52	134.06	135.24	131.89	133.50	129.25	123.99	124.26	115.03
50 años	155.20	152.01	153.19	148.48	150.67	145.27	138.56	138.85	128.94
100 años	173.17	169.27	170.75	164.89	167.64	161.12	153.00	153.29	141.56
200 años	191.01	186.38	188.25	181.11	184.44	176.90	167.35	167.66	154.10
300 años	203.79	199.00	201.10	193.11	196.94	188.52	177.92	178.26	163.24

Tabla 8: Precipitación Máxima para una duración de 2 horas

Posteriormente se reducirá los valores de la Tabla 8 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).

	W100	WIIO	W120	W130	W140	W150	W160	W170	W180
2 años	59.73	60.12	59.56	60.46	60.39	59.74	59.89	60.18	58.71
5 años	86.84	86.03	86.16	85.13	85.62	83.94	82.29	82.51	78.96
10 años	104.00	103.15	103.72	101.86	102.80	100.03	96.91	97.14	91.94
25 años	126.03	124.68	125.77	122.66	124.16	120.20	115.31	115.56	106.98
50 años	144.34	141.37	142.47	138.09	140.12	135.10	128.86	129.13	119.91
100 años	161.05	157.42	158.80	153.35	155.90	149.84	142.29	142.56	131.65
200 años	177.64	173.34	175.07	168.43	171.53	164.52	155.64	155.92	143.31
300 años	189.52	185.07	187.02	179.59	183.15	175.33	165.46	165.78	151.81

Tabla 9: 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.

	2años	5años	10años	25años	50años	100años	200años	300años
00:15	9.16	12.90	15.43	18.58	20.92	23.23	25.52	27.21
00:30	26.01	36.63	43.83	52.78	59.42	65.98	72.48	77.28
00:45	12.09	17.03	20.37	24.53	27.62	30.67	33.69	35.92
01:00	5.50	7.74	9.26	11.15	12.55	13.94	15.31	16.33
01:15	3.66	5.16	6.17	7.43	8.37	9.29	10.21	10.88
01:30	1.83	2.58	3.09	3.72	4.18	4.65	5.10	5.44
01:45	1.10	1.55	1.85	2.23	2.51	2.79	3.06	3.27
02:00	1.10	1.55	1.85	2.23	2.51	2.79	3.06	3.27

Tabla 10: Distribución Temporal para la Subcuenca W100 y un Tr = 100 años





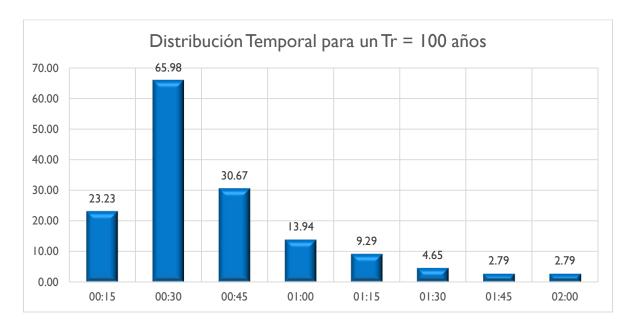


Figura 20: Hietograma de Diseño para Subcuenca W100 y un Tr = 100 años

c. Resultados

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

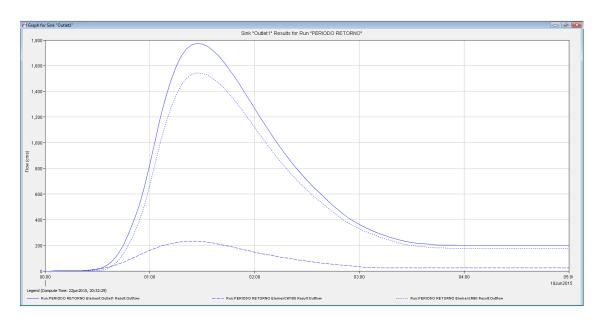


Figura 21: Hidrograma de diseño en Cantón Melara con un Tr = 100 años





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 el Cantón Melara, municipio del Puerto de La Libertad. Este lugar ha sido ubicado como posible zona en donde se podría instalar una mira de colores, la cual, serviría de guía para las comunidades aledañas al cauce del río, en el seguimiento del protocolo de acción del Sistema de Alerta Temprana.

Para la modelación hidráulica se ocupó el Software 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.

Se determinó en el apartado anterior, el caudal pico de diseño para diversos periodos de retornos. Dicho caudal pico se corrió en un modelo de superficie, bajo las condiciones propias de la zona, tales como coeficiente de rugosidad, pendiente del cauce, entre otras variables hidráulicas.

a. Resultados

Una vez ingresados los parámetros hidráulicos y el caudal del diseño, se obtienen los tirantes máximos para diferentes periodos de retorno. En la Figura 22 se puede observar la sección transversal en el sitio de Interés (Cantón Melara) en donde se concluye que para periodos de retorno mayores a 10 años, el nivel del río estaría completamente lleno y podría estar generando desbordamientos focalizados aguas abajo.

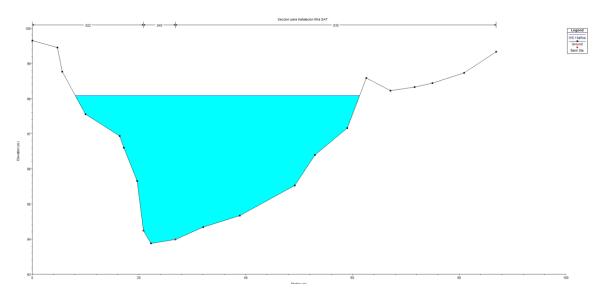


Figura 22: Sección Transversal en Río Huiza en Cantón Melara con un Periodo Retorno de 10 años





GENERACIÓN DE UMBRALES DE RÍO

Para la determinación del umbral del nivel de río en Cantón Melara, 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 los Cantones Melara y Bocana Toluca, respectivamente. El lugar seleccionado para instalar la mira, se encuentra aproximadamente a 100 metros aguas abajo de estación Melara. Este sitio serviría a la comunidad para monitorear el nivel del río cuando se tienen crecidas considerables.

Para el caso del Río Huiza, 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 Huiza





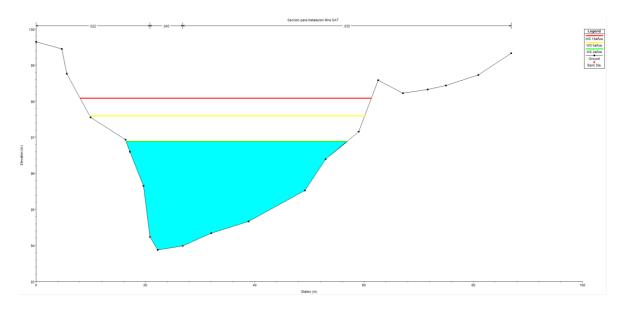


Figura 24: Umbrales de Nivel de Río en Cantón Melara

Lugar Propuesto Monitoreo		Aviso	Emergencia	
Cantón Melara	3.00 metros	3.71 metros	4.20 metros	

Tabla II: Umbrales de Nivel de Río Huiza Cantón Melara

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. Posteriormente, se extrajo las precipitaciones para los periodos de retorno analizados con una duración de 24 horas (ver Tabla 6) y se desagregó la precipitación en intervalos horarios en base al análisis de la Distribución Temporal de Lluvias En El Salvador (Erazo, 2011). Finalmente, se ordenó la precipitación horaria de menor a mayor, con lo cual se generó una curva acumulada de precipitación, tal como lo muestra la Figura 25





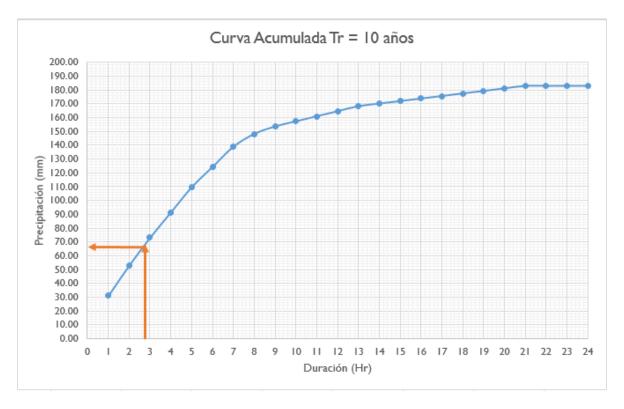


Figura 25: Curva de Precipitación Acumulada con Tr = 10 años

Una vez generada la curva de precipitación acumulada, se calculó el tiempo de concentración del río Huiza hasta el Cantón Melara (2.70 horas) y se interceptó con la curva de precipitación acumulada, con el fin de obtener un valor de precipitación. El resultado nos brinda el umbral de precipitación para el periodo de retorno analizado.

En la Tabla 12, se muestra los umbrales de precipitación calculados para el Sistema de Alerta Temprana del Río Huiza

Duración	Monitoreo	Aviso	Emergencia
24 horas	40 mm	55 mm	65 mm

Tabla 12: Umbrales de Precipitación en la Cuenca del Río Huiza

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 Cantón Melara. Adicionalmente, Gerencia de Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres de la Alcaldía del Puerto de La Libertad, ha proporcionado observadores locales que están dentro de la cuenca del Río Huiza.

NOMBRE	COMUNIDAD	TELEFONO	
Víctor Martinez D	Boca Poza	7722-2327	
Lucas Ortiz	Santa Cruz	7234-1801	
Juan Rivas	Nuevo Toluca	7576-9178	
Sara Sibrián Lara	Melara Centro	7254-5886	
Delmy Bermúdez	Las Palmeras	7891-2591	
Paz González G.	Playa Toluca	6117-9066	

Tabla 13: Red de Observadores Locales en Río Huiza

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 4 estaciones telemétricas en la cuenca del Río Huiza, las cuales son Huizucar, Panchimalco, Melara y Hacienda Melara. Dichas estaciones realizan la transmisión de datos cada 10 y 15 minutos. Sin embargo, no se tiene la cobertura en la parte media de la cuenca.

En la Figura 26, se observa los puntos donde se propone la instalación de pluviómetros, entre los que destacan el cantón El Carrizal, Loma y Media y La Barrosa.





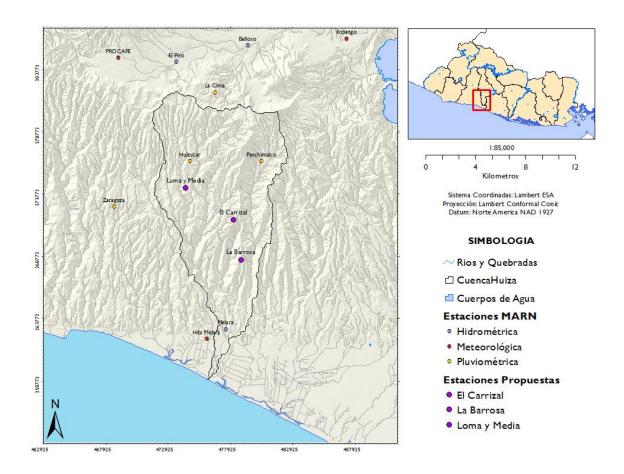


Figura 26: Mapa de Propuesta de Sitios para Pluviómetros





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.