



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA  
INUNDACIONES DEL RÍO CHINAUTLA, ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA, GUATEMALA**

**Kimberly Stephanie López Estrada**

Asesorado por el Ing. Luis Eduardo Andrade Custodio

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA  
INUNDACIONES DEL RÍO CHINAUTLA, ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**KIMBERLY STEPHANIE LÓPEZ ESTRADA**  
ASESORADO POR EL ING. LUIS EDUARDO ANDRADE CUSTODIO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. José Fernando Samayoa Roldán
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO CHINAUTLA, ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha junio de 2015.

**Kimberly Stephanie López Estrada**

Guatemala, 26 de julio de 2017

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de Escuela de Ingeniería Civil

Respetado Ingeniero:

Por medio de la presente comunico a usted, que el trabajo de graduación titulado: **“ESTUDIO HIDROLOGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO CHINAUTLA, ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA, GUATEMALA”**, de la estudiante Kimberly Stephanie Lopez Estrada, con carne no: 2221881700101 y registro 2011-14288, fue retomado y asesorado por mi persona Luis Eduardo Andrade Custodio ingeniero civil con número de colegiado No. 12, 358.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.



LUIS EDUARDO ANDRADE CUSTODIO  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 12,358

Ing. Civil Luis Eduardo Andrade Custodio  
Ingeniero Civil, Colegiado No.12 358  
Asesor



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala, 21 de agosto de 2017

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero

Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RIO CHINAUTLA, ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA, GUATEMALA”**, desarrollado por la estudiante de ingeniería civil **Kimberly Stephanie López Estrada**, quien contó con la asesoría del ingeniero Luis Eduardo Andrade Custodio.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y habiendo cumplido con los objetivos doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me despido atentamente.



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRÁULICA  
USAC

Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza  
Jefe del Departamento de Hidráulica





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Eduardo Andrade Custodio y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza, al trabajo de graduación de la estudiante Kimberly Stephanie López Estrada ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO CHINAUTLA, ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA, GUATEMALA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2017

/mrm.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



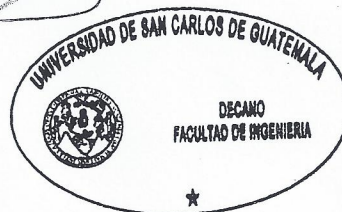
Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref.DTG.D.437.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO CHINAUTLA, ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Kimberly Stephanie López Estrada**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, septiembre de 2017

/cc





## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haberme dado la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme todos los conocimientos de mi carrera y poder ser una profesional
<b>Mis padres</b>	Porque es el mayor regalo que les puedo dar.
<b>Mi novio</b>	Por su compañía, apoyo y amor, que me brindó hasta alcanzar mi meta.
<b>Mis amigos</b>	Por compartir conmigo su sabiduría y estar ahí a lo largo de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Hidrología .....	1
1.1.1. Esquema del ciclo hidrológico .....	2
1.2. Ecuación fundamental de la hidrología.....	4
1.3. Aplicaciones de la hidrología .....	5
1.4. Vertientes de Guatemala .....	7
1.4.1. Vertiente del Pacífico.....	7
1.4.2. Vertiente del Caribe .....	7
1.4.3. Vertiente del Golfo de México.....	8
2. ORIGEN DE LOS FENÓMENOS NATURALES QUE INCIDEN EN LA VULNERABILIDAD DE GUATEMALA .....	11
2.1. Fenómenos hidrometeorológicos .....	12
2.1.1. Ciclón tropical .....	12
2.1.1.1. Depresión tropical.....	13
2.1.1.2. Tormenta tropical.....	13
2.1.1.3. Huracán .....	13
2.1.1.4. Huracán intenso.....	13

2.1.2.	Inundaciones .....	14
2.1.2.1.	Inundación por desbordamiento .....	15
2.1.2.2.	Inundaciones debido a urbanización ....	15
2.1.3.	Cálculo de una crecida .....	16
2.2.	Fenómenos hidrometeorológicos que afectaron al territorio guatemalteco.....	16
2.3.	Conceptos: vulnerabilidad, amenaza, riesgo y desastre .....	20
2.3.1.	Vulnerabilidad.....	20
2.3.1.1.	¿Cómo identificar la vulnerabilidad? ....	20
2.3.1.2.	¿Cómo evaluar un nivel de vulnerabilidad? .....	21
2.3.1.3.	Reducción de vulnerabilidad .....	22
2.3.2.	Amenaza .....	23
2.3.2.1.	Amenazas naturales.....	24
2.3.2.2.	Amenazas antrópicas .....	24
2.3.2.3.	Amenazas socionaturales .....	25
2.3.3.	Riesgo .....	25
2.3.3.1.	Características del riesgo .....	25
2.3.3.2.	La gestión del riesgo .....	26
2.3.4.	Desastre .....	27
2.3.4.1.	Causas y efectos de los desastres .....	27
3.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHINAUTLA.....	29
3.1.	Ubicación geográfica y delimitación de la cuenca del río Chinautla .....	29
3.2.	Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chinautla .....	30
3.2.1.	Área de drenaje de la cuenca del río Chinautla (A) .....	31

3.2.2.	Perímetro de la cuenca del río Chinautla (P) .....	31
3.2.3.	Red de drenaje .....	31
3.2.4.	Relación de bifurcación ( $R_B$ ).....	33
3.2.5.	Relación de longitud ( $R_L$ ).....	33
3.2.6.	Densidad de drenaje ( $D$ ).....	34
3.2.7.	Frecuencia de cauces (F) .....	35
3.3.	Parámetros de la forma de la cuenca.....	36
3.3.1.	Coeficiente de compacidad ( $K_C$ ).....	36
3.3.2.	Factor de forma ( $K_F$ ).....	37
3.4.	Características del relieve .....	37
3.4.1.	Histograma de frecuencias altimétricas (S) .....	37
3.4.2.	Curva hipsométrica.....	38
3.4.3.	Pendiente del cauce principal .....	39
3.4.3.1.	Pendiente media ( $S_M$ ) .....	39
4.	APLICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HEC-RAS EN EL TRAMO DEL RÍO CHINAUTLA EN LA ALDEA SANTA CRUZ CHINAUTLA.....	41
4.1.	Introducción al programa HEC-RAS.....	41
4.2.	Procesamiento y análisis de la información.....	42
4.3.	Caudales del río Chinautla .....	43
4.4.	Simulación de inundación en el tramo de estudio del río Chinautla .....	46
5.	PROPUESTA DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES.....	51
5.1.	Control de inundaciones.....	51
5.1.1.	Medidas estructurales.....	51
5.1.1.1.	Bordos perimetrales.....	52

5.1.1.2.	Bordos longitudinales .....	52
5.1.1.3.	Muros longitudinales .....	53
5.1.2.	Dragado.....	53
5.1.3.	Medidas no estructurales .....	54
5.2.	Propuesta de diseño de bordos para el tramo del río Chinautla .....	55
5.2.1.	Diseño del bordo .....	59
5.2.2.	Aspectos importantes para el diseño de bordos.....	64
5.2.3.	Conservación de bordos.....	65
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES .....		69
BIBLIOGRAFÍA.....		71
APÉNDICES.....		73

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema del ciclo hidrológico.....	3
2.	Vertientes de Guatemala.....	8
3.	Cuencas de Guatemala.....	9
4.	Puente Jones, Teculután, Zacapa.....	17
5.	Deslave en Panabaj, Sololá.....	18
6.	Río Nahulate, Suchitepéquez.....	19
7.	Pérdidas en cultivos.....	19
8.	Ubicación geográfica de la cuenca del río Chinautla.....	29
9.	Cuenca del río Chinautla.....	30
10.	Orden de la cuenca del río Chinautla.....	32
11.	Histograma de frecuencias altimétricas.....	38
12.	Curva hipsométrica.....	39
13.	Ventana de inicio de HEC-RAS.....	42
14.	Vista 3D del área de inundación del río Chinautla.....	42
15.	Simulación hidráulica en la sección 0+000.....	46
16.	Simulación hidráulica en la sección 0+100.....	46
17.	Simulación hidráulica en la sección 0+200.....	47
18.	Simulación hidráulica en la sección 0+300.....	47
19.	Simulación hidráulica en la sección 0+400.....	47
20.	Simulación hidráulica en la sección 0+500.....	47
21.	Simulación hidráulica en la sección 0+600.....	48
22.	Simulación hidráulica en la sección 0+700.....	48
23.	Simulación hidráulica en la sección 0+800.....	48

24.	Simulación hidráulica en la sección 0+900 .....	48
25.	Simulación hidráulica en la sección 1+000 .....	49
26.	Simulación hidráulica en la sección 1+100 .....	49
27.	Simulación hidráulica en la sección 1+200 .....	49
28.	Colocación de materiales según la permeabilidad.....	56
29.	Diseño de banquetas a los pies de los bordos .....	57
30.	Dimensiones mínimas para bordos menores a 3m.....	57
31.	Dimensiones mínimas para bordos mayores a 3m.....	58
32.	Bordo con protección marginal de piedra .....	61
33.	Bordo con protección marginal de pilotes .....	61
34.	Parámetros de diseño de bordos.....	62
35.	Diseño de bordo cálculo realizado en la sección 1+100 .....	64

## **TABLAS**

I.	Escala de vientos del huracán Saffi-Simpson.....	14
II.	Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas.....	43
III.	Cuantiles de caudales modulares regionales de acuerdo a las distribuciones Gumbel y Log-Normal .....	44
IV.	Caudales resultantes de utilizar la distribución Gumbel para diferentes períodos de retorno.....	44
V.	Régimen del flujo del tramo de estudio del río Chinautla para períodos de retorno de 5, 10 y 25 años .....	45
VI.	Régimen del flujo del tramo de estudio del río Chinautla para períodos de retorno de 50 y 100 años .....	45



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b><math>\Delta S</math></b>	Cambio en el almacén superficial
<b>Kc</b>	Coefficiente de compacidad
<b>IDF</b>	Curvas de intensidad-duración-frecuencia
<b>D</b>	Densidad de drenaje
<b>ET</b>	Evapotranspiración
<b>Kf</b>	Factor de forma
<b>G</b>	Flujo neto de aguas subterráneas
<b>F</b>	Frecuencia de cauces
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilómetros cuadrados
<b>m/s<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos por segundo
<b>Sm</b>	Pendiente media
<b>Smp</b>	Pendiente media ponderada
<b>P</b>	Perímetro
<b>Rb</b>	Relación de bifurcación
<b>RI</b>	Relación de longitud



## GLOSARIO

<b>Amenaza</b>	Peligro inminente que surge de un hecho o acontecimiento que aún no ha sucedido, pero que de concretarse aquello que se dijo que iba a ocurrir, perjudicará a una o varias personas en particular.
<b>Amenazas antrópicas</b>	Son eventos generados por la acción humana, como la contaminación industrial, infraestructura, transporte, incendios, contaminación de ríos, entre otros, capaces de afectar la vida o bienes de las personas.
<b>Azolves</b>	Obstruir algún conducto o canal, de modo que se impide el paso del agua.
<b>Bordos</b>	Son estructuras de tierra que se construyen a lo largo de ríos con objeto de confinar el escurrimiento que sobresale de las márgenes durante crecidas, protegiendo la llanura de inundación contra el desbordamiento del río.
<b>Bifurcación</b>	Acción de separar un río o camino en varias partes.
<b>Canalización</b>	Regularización o refuerzo del cauce de cualquier corriente de agua, para darle la dirección deseada.

<b>Caudal</b>	Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.
<b>Cauce</b>	Lecho de un arroyo o de un río, es decir, la depresión del terreno que contiene al agua.
<b>Cuenca</b>	Es un territorio por un sistema de drenaje natural.
<b>Cuantiles</b>	Son los valores de la variable que, ordenados de menor a mayor, dividen la distribución en partes, de tal manera que cada una de ellas contiene el mismo número de frecuencias.
<b>Dentellón</b>	Elemento estructural en forma de diente diseñado en la parte inferior de un muro de contención para aumentar la estabilidad del mismo y disminuir las dimensiones del elemento..
<b>Dragados</b>	Operación de limpieza de rocas y sedimentos en cursos de agua, lagos, bahías o accesos a puertos. Se efectúan para aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río, con el fin de aumentar la capacidad de transporte de agua, evitando así las inundaciones aguas abajo.
<b>HEC-RAS</b>	Centro de Ingeniería Hidrológica-Sistema de análisis de ríos. (Hydrologic Engineering Center–River Analysis System).

<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala.
<b>Meandros</b>	Curva descrita por el curso de un río cuya sinuosidad es pronunciada.
<b>Riesgo</b>	Es una medida de la magnitud de los daños frente a una situación peligrosa.



## RESUMEN

El crecimiento poblacional en Guatemala ha creado situaciones de vulnerabilidad ante eventos de la naturaleza, dado que varias poblaciones se han ubicado en zonas consideradas riesgosas. Los pobladores de la aldea Santa Cruz Chinautla se han ubicado en las riberas del río Chinautla, poniendo en riesgo sus vidas y la infraestructura de sus viviendas. Estas son amenazadas por las crecientes del río Chinautla, debido a que parte baja de la cuenca del río Chinautla tiene una gran planicie en donde, al ocurrir una avenida, inunda las áreas más cercanas afectando a varias viviendas.

Para proponer y diseñar una adecuada obra de protección deben considerarse parámetros hidrológicos de la cuenca del río Chinautla y una simulación hidráulica del área de estudio. La simulación hidráulica se realizó utilizando datos topográficos y características del caudal para determinar las velocidades alcanzadas por el río, la llanura de inundación y el nivel máximo de crecida para caudales calculados con varios períodos de retorno.

Con los resultados hidráulicos y los niveles de las crecidas se diseñó la geometría de los bordos. Finalmente, se realizó una simulación hidráulica ubicando los bordos propuestos con los mismos caudales utilizados en la simulación inicial, teniendo resultados positivos y evitando la inundación de las áreas que se eligió proteger.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar la situación de vulnerabilidad ante inundaciones de la aldea Santa Cruz del municipio de Chinautla, causada por la cercanía del río Chinautla, realizando la propuesta y el diseño de las obras de protección contra las mismas.

### **Específicos**

1. Realizar un estudio hidrológico de la cuenca del río Chinautla.
2. Determinar, a través de un estudio hidrológico, las crecidas del río Chinautla.
3. Proponer un diseño estructural para minimizar o eliminar los daños provocados por las inundaciones, determinando todos los parámetros para su construcción.
4. Realizar, con base en el programa HEC-RAS, una simulación hidráulica de las secciones del río para determinar las áreas de mayor inundación.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala ha sido impactada por diferentes fenómenos naturales debido a su posición geográfica y a sus condiciones de alta vulnerabilidad, que han estado presentes a lo largo de toda su historia. Si bien es cierto que Guatemala está en un área de múltiples amenazas, es su vulnerabilidad lo que provoca que el país sea propenso a las mismas.

Los fenómenos naturales, tales como los hidrometeorológicos, ciclones tropicales, frentes fríos, entradas de aire húmedo, pueden ocasionar lluvias intensas que desencadenan inundaciones, deslaves u otros efectos de esta naturaleza. Las comunidades que se encuentran cercanas a los ríos son las más propensas y esto trae como consecuencia pérdidas materiales y humanas.

Por esa razón se busca detectar las áreas de mayor vulnerabilidad de la comunidad Santa Cruz Chinautla, y proponer un diseño estructural que permitirá la prevención y reducción de los desastres.



# 1. CONCEPTOS GENERALES

## 1.1. Hidrología

La hidrología es la ciencia que estudia el agua, sus manifestaciones en la atmósfera, sobre y debajo de la superficie terrestre. Estudia sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y sus interrelaciones naturales, específicamente con el ser humano.

Desde el punto de vista de la ingeniería civil, la hidrología incluye los métodos y parámetros para determinar el caudal, como elemento de diseño de las obras que tienen relación con el aprovechamiento y protección del agua, como es el caso de represas, canales, acueductos y drenaje pluvial, entre otros. La hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hidráulicos y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería.

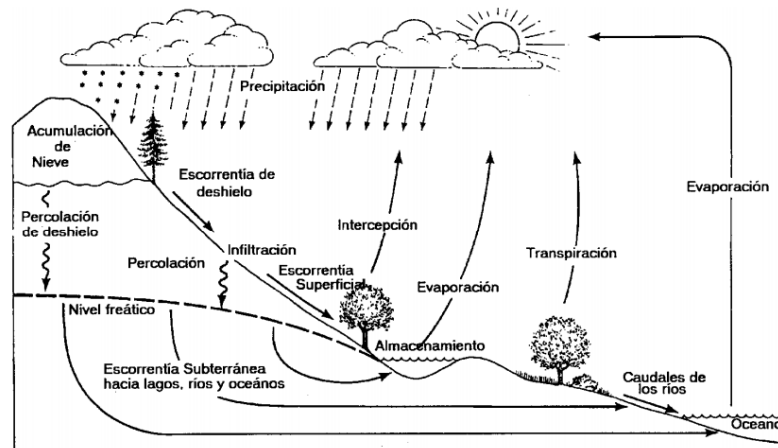
De esta forma, el uso de la hidrología en la ingeniería civil es fundamental para el planeamiento, diseño y operación de los proyectos hidráulicos, pues orienta los parámetros hidrológicos del diseño. Sin embargo, dada la dependencia de esta ciencia de los aspectos meteorológicos y ambientales, en muchos casos los resultados deberán ser considerados como estimados, por lo tanto será necesario complementar las incertidumbres con métodos estadísticos y probabilísticos.

### **1.1.1. Esquema del ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera, y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua). El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1 000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación.

El agua que precipita en la tierra puede tener varios destinos. Como se observa en la figura 1, una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, el agua restante se infiltra penetrando en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas. Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo, van a alimentar los cursos de agua que desembocan en lagos y en océanos. La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado esta. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico



Fuente: RUBEN, Villodas. *Hidrología*. 8 p.

El agua del ciclo hidrológico está distribuida en distintos estados. Para comprender la naturaleza del agua, es preciso considerar no solo cómo y dónde se halla distribuida, sino también su movimiento entre las distintas formas en que se encuentra almacenada.

El 97 % del agua del planeta se encuentra en los océanos, mientras que el restante porcentaje se reparte entre: lagos y ríos (0,02 %), capas y humedad del suelo (0,58 %), nieves y glaciares (2,0 %) y la atmósfera (0,001 %). Solo un 2,5 % del total de agua es dulce y sirve para consumo humano: un 0,76 % de aguas subterráneas; un 1,7 % de hielo polar; un 2,01 % de hielo no polar (glaciares) y nieve; un 0,02 % de lagos dulces y ríos; un 0,001% de aguas atmosféricas, y un 0,0068% de otros.

## 1.2. Ecuación fundamental de la hidrología

El balance hídrico también se conoce como ecuación de continuidad o conservación de masa. Permite calcular la cantidad de agua en un lugar particular por medio de la relación de las variables que intervienen en el ciclo hidrológico: precipitación, evotranspiración, escurrimiento superficial, almacenamiento superficial, subterráneo y flujo de agua subterránea. Se aplica cuando se realiza una distribución de los recursos hidráulicos a nivel global o en cuencas particulares. Es imprescindible en los estudios de regulación de embalses y en los proyectos de suministro de agua para acueducto, riego y generación hidroeléctrica.

El cálculo del balance hídrico en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre: el volumen anual de escurrimiento o excedentes, el período en el que se produce el excedente y, por tanto, la infiltración o recarga del acuífero; también sobre el período en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua para riego en ese período. El volumen de agua en cualquier punto de un sistema hidrológico se puede establecer simplemente examinando la diferencia entre las entradas y salidas de dicho sistema y del cambio que se produce en el almacenamiento. En otras palabras, el caudal entrante menos el caudal saliente equivale a un cambio en almacenamiento, lo cual se puede observar con la ecuación 1 y la fórmula general que se muestra en la ecuación 2.

$$E - S = \pm \Delta A \quad (\text{Ec.1})$$

En donde:

E : Caudal entrante

S: Caudal saliente



$\pm\Delta A$ : Cambio de almacenamiento

La ecuación general del balance hídrico se detalla a continuación:

$$P - Q - G = ET + \Delta S \quad (\text{Ec.2})$$

En donde:

P : Precipitación

Q: Caudal superficial

G : Flujo neto de aguas subterráneas desde la cuenca hasta el exterior

ET: Representa la evotranspiración real en la cuenca

$\Delta S$ : Cambio de almacenamiento

### 1.3. Aplicaciones de la hidrología

Entre los usos más comunes del agua con fines de aprovechamiento se destacan:

- Abastecimiento urbano: se asocia a la satisfacción de la demanda futura de agua para consumo doméstico, comercial e industrial. Una vez que se ha determinado el valor de la demanda de agua, los métodos hidrológicos permiten realizar el análisis de la fuente que va a suministrarla. El estudio hidrológico incluye aquí el análisis de caudales medios y mínimos de la fuente.
- Riego agrícola: mediante el aprovechamiento del agua se garantiza el agua necesaria en el suelo para garantizar el crecimiento de las plantas empleadas en la producción agrícola. Los estudios hidrológicos en este uso se centran en el análisis principalmente del clima, evapotranspiración y lluvia en períodos cortos.

- Hidroelectricidad: en este caso se captan los caudales de corrientes superficiales (ríos) y se aprovechan las diferencias de cota para generar energía eléctrica a través de la transformación de la energía hidráulica. Un estudio hidrológico determina la capacidad que tiene la fuente para suministrar la demanda de energía, se cuantifican los procesos de sedimentación y se determinan las condiciones de la descarga.
- Control de crecidas: comprende todas las obras y acciones encaminadas a impedir los daños que ocasionan los desbordamientos de aguas en los ríos u otros cuerpos superficiales en centros urbanos, plantaciones, etc.
- Control de erosión: consiste en impedir la acción erosiva del agua, tanto en cauces como en el suelo.

Los métodos hidrológicos recolectan y procesan información histórica, programan y ejecutan actividades de campo en topografía, aforos, toma y análisis de muestras de sedimentos, entre otros. Los resultados de estos producen información sobre los siguientes aspectos:

- Características climatológicas y morfométricas de las zonas que tienen influencia sobre el área del proyecto.
- Selección y capacidad de la fuente que suministrará el caudal que se entregará a los beneficiarios del proyecto.
- Magnitud de los eventos extremos (crecientes y sequías), que pueden poner en peligro la estabilidad de las obras civiles, los procesos de navegación o el suministro confiable de agua a los usuarios.
- Transporte de sedimentos hacia las obras de captación y almacenamiento o erosión de cauces naturales.

## **1.4. Vertientes de Guatemala**

La hidrografía de Guatemala se divide en tres grandes regiones hidrográficas que se conocen con el nombre de vertientes.

### **1.4.1. Vertiente del Pacífico**

La vertiente del Pacífico tiene una extensión de 24 237,26 km<sup>2</sup> (22 % del territorio), 18 cuencas y caudal promedio anual de 808 m<sup>3</sup>/s. En general las cuencas son angostas, con fuertes pendientes en la parte media y con una pendiente muy suave en la parte baja. Las cuencas de esta vertiente se ven caracterizadas por una rápida respuesta a la precipitación y un alto grado de sedimentación en la planicie costera, incrementado por la alta disponibilidad de sedimento producto de los volcanes activos.

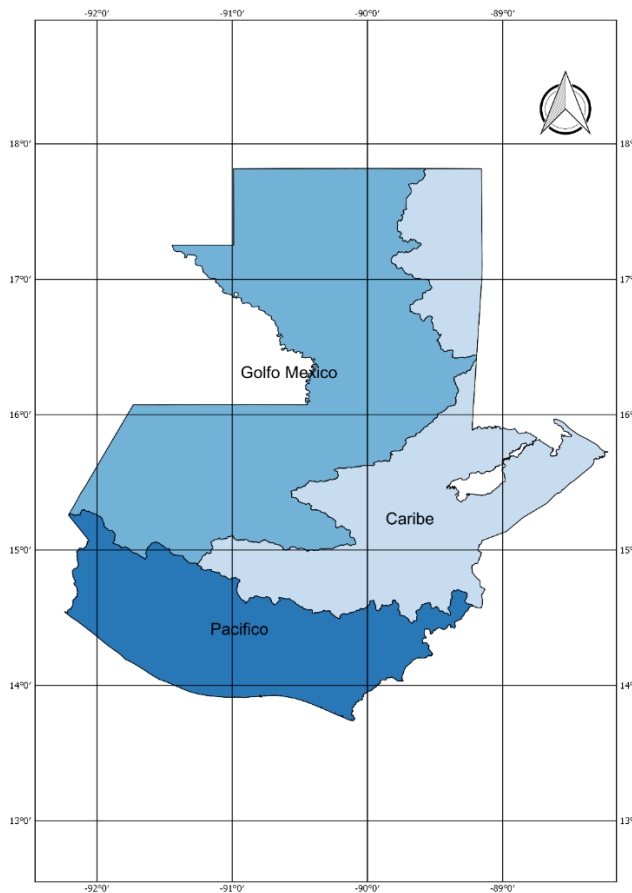
### **1.4.2. Vertiente del Caribe**

La vertiente del Caribe tiene una extensión de 33 799,29 km<sup>2</sup> (31 % del país), con 10 cuencas y un caudal promedio anual de 1010 m<sup>3</sup>/s. Incluye los ríos con mayor longitud en el territorio guatemalteco. En general las cuencas están muy bien definidas, en las partes altas tienen fuertes pendientes, que van drenando para convertirse en ríos sinuosos con valles inundables en las partes más bajas cerca de las desembocaduras. Las condiciones orográficas inducen a que en esta vertiente se tenga una de las zonas más secas del istmo centroamericano.

### 1.4.3. Vertiente del Golfo de México

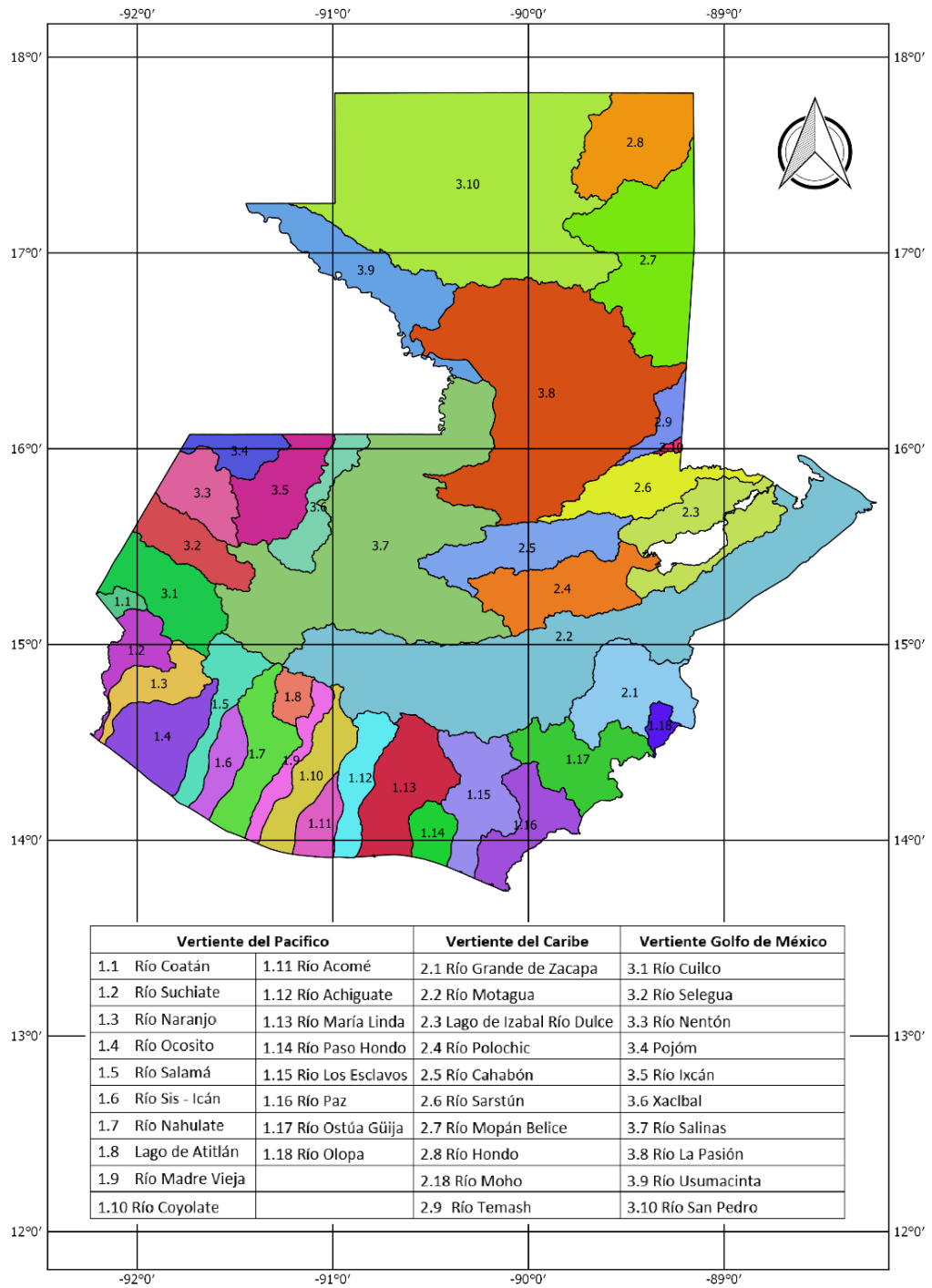
La vertiente del Golfo de México contiene cuencas que cruzan la frontera con dicho país, con un área de 50 850,45 km<sup>2</sup> (47 % del territorio), está conformada por 10 cuencas, con un caudal medio anual de 1 372 m<sup>3</sup>/s. Son las cuencas más extensas del país y las más caudalosas, todas conforman finalmente el caudal del río Grijalva en México. En la figura 2 se observa la división geográfica de la vertiente del Pacífico, del Caribe y del Golfo de México, y en la figura 3 se observan las 38 cuencas que corresponden a cada vertiente.

Figura 2. Vertientes de Guatemala



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis.

Figura 3. Cuencas de Guatemala



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis.



## **2. ORIGEN DE LOS FENÓMENOS NATURALES QUE INCIDEN EN LA VULNERABILIDAD DE GUATEMALA**

Guatemala es afectada de forma recurrente por una variedad de fenómenos que se traducen en amenazas. Esto sucede por una combinación de factores, como la ubicación geográfica del país en el istmo centroamericano. El territorio guatemalteco está ubicado entre dos grandes masas continentales y dos océanos, y se encuentra en la zona de convergencia intertropical. Debido a esto sufre la incidencia de eventos de origen hidrometeorológicos, como huracanes, lluvias intensas, temporales y su consecuencia en inundaciones y deslizamientos.

Otro factor que provoca amenazas son las placas tectónicas de Cocos, del Caribe y Norteamérica, que tienen su punto de encuentro en el territorio nacional y que, al interactuar entre sí, permiten reacomodar la corteza terrestre y han dado origen a la topografía. Este permanente reacomodo es el origen de la gran cantidad de sismos que afectan a Guatemala. Por último, la interacción entre la placa de Cocos y la placa del Caribe ha dado origen al cinturón volcánico que atraviesa el país de Oeste a Este y está constituido por un total de 37 volcanes, de los cuales al menos 7 se mantienen activos: Atitlán, Cerro Quemado, Fuego, Pacaya, Santa María, Santiaguillo y Tacaná.

Desde el año 1530 a año 1999 se ha registrado un total de 21 447 fenómenos, de los cuales el 68 % es de origen hidrometeorológicos y el 32 % de origen geodinámico. Los cuatro departamentos más afectados son San Marcos, Quetzaltenango, Huehuetenango y Guatemala.

## **2.1. Fenómenos hidrometeorológicos**

La hidrometeorología es la ciencia que estudia el ciclo del agua en la naturaleza, abarca el estudio de las fases atmosférica (evaporación, condensación y precipitación) y terrestre (intercepción de la lluvia, infiltración y escorrentía) del ciclo hidrológico, y especialmente de sus interrelaciones. Esta ciencia está estrechamente ligada a la meteorología, la hidrología y climatología. Comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de los ríos y los volúmenes almacenados en embalses naturales y artificiales, así como de los factores meteorológicos.

El desarrollo de esta ciencia ayuda a la comprensión de los fenómenos hidrometeorológicos, así como al desarrollo de sistemas y herramientas hidrometeorológicas que vienen siendo cada día más utilizadas en la observación, predicción, modelización, prevención y alerta temprana, y en las áreas de control de inundaciones y aplicaciones específicas para el control y gestión de embalses.

Los fenómenos hidrometeorológicos se pueden categorizar según la velocidad de los vientos. La escala de Saffi-Simpson muestra una forma de categorizar estos fenómenos como se indicó en la tabla I y se dividen de la siguiente manera:

### **2.1.1. Ciclón Tropical**

Un ciclón tropical es un sistema giratorio, organizado por nubes y tormentas que se origina sobre aguas tropicales o subtropicales y tiene un centro de circulación cerrado en los niveles bajos de la atmósfera. Los ciclones



tropicales rotan en contra de las manecillas del reloj en el hemisferio norte. Son de los fenómenos más poderosos y destructivos en la naturaleza, están clasificados de la siguiente manera:

#### **2.1.1.1. Depresión tropical**

Los vientos se incrementan en la superficie, producto de la existencia de una zona de baja presión. Dichos vientos alcanzan una velocidad sostenida menor o igual a 62 km/h (38mph).

#### **2.1.1.2. Tormenta tropical**

El incremento continuo de los vientos provoca que estos alcancen velocidades máximas sostenidas entre los 63 y 118 km/h (39 a 73 mph). Las nubes se distribuyen en forma de espiral.

#### **2.1.1.3. Huracán**

Un ciclón tropical con vientos máximos sostenidos alcanza o supera los 74 mph (119 km/h) o más fuertes. En el Pacífico noroeste, los huracanes son llamados tifones; tormentas similares en el Océano Índico son llamadas ciclones. El ojo del huracán alcanza normalmente un diámetro que varía entre 24 y 40 km, sin embargo, puede llegar hasta cerca de 100 km.

#### **2.1.1.4. Huracán intenso**

Un ciclón tropical con vientos máximos sostenidos de 111 mph o más fuertes, correspondiendo a las categorías 3, 4 o 5 en la escala de vientos de Huracán de Saffi-Simpson. Un sistema post tropical es un sistema que ya no

posee suficientes características tropicales para ser considerado un ciclón tropical. Los ciclones post tropicales todavía pueden producir lluvias intensas y vientos fuertes.

Tabla I. **Escala de vientos de huracán Saffi-Simpson**

<b>Categoría</b>	<b>Vientos sostenidos (kph)</b>	<b>Tipo de daño</b>
1	119-153	Árboles pequeños caídos; daños al tendido eléctrico.
2	154-177	Adicionalmente a los daños de la categoría uno: daño en tejados, puertas y ventanas; desprendimiento de árboles.
3	178-208	Adicionalmente a los daños de la categoría dos: grietas en construcciones.
4	209-251	Adicionalmente a los daños de la categoría tres: desprendimiento de techos en viviendas
5	> 252	Adicionalmente a los daños de la categoría cuatro: daño muy severo y extenso en ventanas y puertas. Falla total de techos en muchas residencias y en construcciones industriales.

Fuente: <http://cremc.ponce.inter.edu/huracanes/escala>. Consulta: enero de 2017.

### **2.1.2. Inundaciones**

Las inundaciones pueden definirse como el cubrimiento temporal por agua de zonas o áreas que en condiciones normales no se encuentran cubiertas. Las inundaciones se producen principalmente por la ocurrencia de lluvias intensas prolongadas, como sucede durante las tormentas tropicales y el paso de huracanes.

### **2.1.2.1. Inundación por desbordamiento**

Son inundaciones naturales en las que el río se sale de su cauce menor para el cauce mayor o llanura de inundación en los períodos de crecidas. Se producen en los terrenos aledaños a los ríos y quebradas y son fenómenos normales de su comportamiento, que en el invierno aumentan sus caudales e inundan los terrenos cercanos. Los desbordamientos se incrementan cuando el hombre altera o interviene el curso natural de los ríos. Pueden ser de dos formas:

- Inundaciones lentas o en llanuras: se producen sobre terrenos planos que desaguan muy lentamente, cercanos a las riberas de los ríos donde las lluvias son frecuentes o torrenciales. Muchas de ellas son producto del comportamiento normal de los ríos, es decir su régimen de aguas, ya que es habitual que en invierno aumente la cantidad de agua inundando los terrenos cercanos como playones o llanuras.
- Inundaciones súbitas: son las crecientes en cuencas de alta pendiente, en especial deforestadas y con escasa vegetación, ocurren con gran rapidez cuando las lluvias son intensas y duraderas. Las aguas desarrollan gran velocidad y caudal produciendo corrientes que arrastran lo que encuentren a su paso. Estas crecientes repentinas pueden producir rompimiento de presas y ocasionar derrumbes.

### **2.1.2.2. Inundaciones debido a urbanización**

Son las inundaciones que ocurren debido al aumento de la impermeabilización de la cuenca por superficies como calles, casas y edificios. La frecuencia y magnitud de inundación depende del grado del coeficiente de escurrimiento de dichas áreas y afecta también el hecho que no se cuente con

efectivos sistemas de alcantarillado o canales de desagües, por lo que aquellos terrenos planos o con superficies cóncavas se ven altamente afectados y vulnerables a inundaciones.

### **2.1.3. Cálculo de una crecida**

Para el diseño de estructuras hidráulicas tales como canales, puentes, presas, alcantarillados, obras asociadas al diseño y construcción de vías, es necesario estimar los caudales máximos asociados a un período de retorno determinado. Las crecidas asociadas a un período de retorno pueden ser estimadas por diferentes métodos, dependiendo de la disponibilidad de registros hidrométricos. Básicamente, existen las siguientes alternativas para el diseño hidrológico de caudales máximos:

- Modelos de lluvia de escorrentía: son aquellos que emplean hidrógrafas unitarias. El llamado método racional también pertenece a esta categoría.
- Métodos estadísticos: se emplean distribuciones de frecuencia de valores extremos, como la Gumbel, Log-Pearson, etc.
- Métodos de diseño hidrológicos para cuencas con pocos o ningún registro hidrológico: en esta categoría pueden considerarse las hidrógrafas unitarias sintéticas, los métodos de regionalización de caudales máximos, el Gradex y el índice de crecientes.

## **2.2. Fenómenos hidrometeorológicos que afectaron al territorio guatemalteco**

Entre algunos de los fenómenos climáticos que han afectado al territorio Guatemalteco desde 1998, se pueden mencionar los siguientes:

En noviembre de 1998, Guatemala vivió uno de los mayores desastres naturales: el huracán Mitch, con vientos de hasta 290 km/hora, en el que 268 personas perdieron la vida, las inundaciones destruyeron 6 000 casas y dañaron otras 20 000, obligando a más de 100 000 personas a evacuar sus hogares. Además, se destruyeron 27 escuelas y se dañaron otras 286. Las inundaciones causaron severos daños a los cultivos mientras que los deslizamientos destruyeron tierra cultivable a lo largo de todo el país. Los departamentos más afectados fueron los del nororiente del país, debido al desbordamiento de ríos y desprendimiento de tierra. En la figura 4 se observa una vista aérea del puente Jones ubicado en Teculután, Zacapa, el cual quedó destruido por la crecida del río Motagua.

Figura 4. **Puente Jones, Teculután, Zacapa**



Fuente:<http://www.prensalibre.com/hemeroteca/huracan-mitch-deja-destruccion-y-muerte-en-1998>. Consulta: agosto de 2017.

Siete años más tarde, cuando el país todavía se recuperaba de la devastación del huracán Mitch, la tormenta Stan, en octubre del 2005, afectó al país casi en su totalidad. Catorce departamentos de la República sufrieron las consecuencias por dicho fenómeno. Stan causó la muerte a 670 personas, 850 desaparecidos y 3,5 millones de damnificados. Tras su paso muchas comunidades fueron desoladas pero el peor incidente ocurrió en Panabaj, una

aldea en el departamento de Sololá, la cual fue destruida completamente por las riadas del lodo. Stan ha sido el desastre natural, fuera de un sismo, que más muertes ha causado en el país. En la figura 5 se muestra el deslave que sepultó viviendas en la aldea Panabaj, Sololá.

Figura 5. **Deslave en Panabaj, Sololá**



Fuente: <http://www.prensalibre.com/guatemala/solola/desastre-por-tormenta-stan-en-panabaj-cumple-10-aos>. Consulta: agosto de 2017.

En 2010, Guatemala volvió a sufrir las consecuencias por una depresión tropical. Esta vez la tormenta Agatha, en mayo de ese año, hizo su entrada en el territorio nacional causando derrumbes, inundaciones y ocasionando la muerte de 160 personas y 78 desaparecidos, más de 300 puentes alrededor del país se destruyeron, lo cual dejó a varios pueblos y comunidades aisladas. En la figura 6 se muestra a los pobladores de San Miguel Panam que quedaron incomunicados por el desborde del río Nahualate.

Figura 6. **Río Nahulate, Suchitepéquez**



Fuente: <http://www.prensalibre.com/hemeroteca/tormenta-agatha-entra-a-guatemala-en-2010>.

Consulta: agosto de 2017.

Un año más tarde, en la depresión tropical Doce-E, en septiembre del 2011, 38 personas perdieron la vida, en las primeras 24 horas se registró una precipitación de más de 305 mm en Guatemala, ocurrieron inundaciones y varios deslaves que causaron graves daños a casas, carreteras y puentes. La depresión tropical afectó por lo menos a 81 de los 333 municipios del país. En la figura 7 se observa los daños a cultivos en el área de Retalhuleu.

Figura 7. **Pérdidas en cultivos**



Fuente: [https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:NAC\\_Da%C3%B1o\\_agricultura](https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:NAC_Da%C3%B1o_agricultura).

Consulta: agosto de 2017.

## **2.3. Conceptos: vulnerabilidad, amenaza, riesgo y desastre**

### **2.3.1. Vulnerabilidad**

Es la probabilidad de que un sujeto o elemento expuesto a una amenaza natural, antrópica o socionatural, sufra daños y pérdidas humanas o materiales en el momento del impacto del fenómeno, teniendo además dificultad en recuperarse de ello, a corto, mediano o largo plazo. Esto significa que la vulnerabilidad también expresa la ineptitud en anticipar la inflexibilidad del elemento expuesto y su incapacidad a resistir o absorber el impacto y adaptarse a los cambios de toda índole que este genere, a fin de recuperarse y restablecer sus medios de vida.

La dimensión de los daños y el lapso durante el cual el elemento queda perturbado y desestabilizado depende de la magnitud del impacto y del grado de vulnerabilidad. Con este concepto se entiende entonces que existe, por un lado, los elementos vulnerables, es decir expuestos, y por el otro, la vulnerabilidad como tal, expresada antes, durante y después del impacto.

#### **2.3.1.1. ¿Cómo identificar la vulnerabilidad?**

La identificación del nivel de vulnerabilidad de un elemento o una comunidad frente a una eventual amenaza, consiste en un proceso de análisis de todos o la mayoría de factores que contribuyen a estructurar la vulnerabilidad total. Este análisis puede realizarse de manera separada a cada uno de los factores, pero además es siempre conveniente realizar un análisis integral y complementario entre cada uno de los mismos.



Por ejemplo, no es lo mismo considerar los factores de vulnerabilidad física para una amenaza de terremoto que para una inundación, pues una habitación construida de material de cemento y de varios niveles puede presentar mayor vulnerabilidad hacia un terremoto, pero menor vulnerabilidad hacia una inundación, y en caso contrario una habitación construida de material de campo presenta menor vulnerabilidad a un terremoto, pero mayor a una inundación. La vulnerabilidad resulta del funcionamiento de un sistema, cuyos componentes son llamados factores de vulnerabilidad, los cuales pertenecen a campos físicos, naturales, ecológicos, tecnológicos, sociales, económicos, territoriales (uso del suelo, planeación, políticas territoriales), culturales, educativos, funcionales, político-institucionales y administrativos, tanto coyunturales como temporales, principalmente.

#### **2.3.1.2. ¿Cómo evaluar un nivel de vulnerabilidad?**

La evaluación de vulnerabilidad es una estimación de las pérdidas o daños que puedan ser causados por un evento natural de cierta severidad, incluyendo daños a la construcción, daños personales e interrupción de las actividades económicas y del funcionamiento normal de las comunidades.

La cuantificación de los niveles de vulnerabilidad puede considerarse en términos cualitativos o cuantitativos. Algunos estudios han contemplado una escala que cuantifica la vulnerabilidad como escasa, baja, media, alta o extrema, de acuerdo al grado de exposición del elemento bajo evaluación. Así mismo, puede ser evaluada y expresada en una escala que va de cero, sin daño, a uno o pérdida total. En estos procesos de evaluación, el investigador puede considerar sus propias escalas, de acuerdo a sus requerimientos y las características de sus variables.

### **2.3.1.3. Reducción de vulnerabilidad**

La reducción de la vulnerabilidad es un proceso dinámico y requiere la participación de los distintos factores dentro de una comunidad. Es necesario, como punto de partida, definir la ubicación de la amenaza potencial, su grado de severidad, el periodo de retorno y la probabilidad de niveles de pérdida esperados, pues la planificación de estrategias para reducir la vulnerabilidad dependerá de la naturaleza tanto de la amenaza como de los factores que contribuyen a estructurar la vulnerabilidad.

El primer paso para reducir la vulnerabilidad es reconocer la importancia de los conceptos preventivos. Más que una estrategia de respuesta, debe darse atención a las amenazas y a la vulnerabilidad antes y no después de que ocurran los eventos. El concepto de reducción de vulnerabilidad es proactivo y activo, dado que puede reducir la probabilidad de pérdidas antes de convertirse en una “tragedia real” y, además, minimiza la magnitud de daños y reduce costos en términos de gastos de emergencia, recuperación y reconstrucción.

Para reducir la vulnerabilidad es necesario comprender los factores que magnifican o intensifican los efectos de las amenazas, por ejemplo, las prácticas agrícolas o ganaderas en las laderas que, en las partes altas de las cuencas hidrográficas, son responsables de un aumento en la escorrentía y el volumen de agua acarreado y, por consiguiente, de una mayor erosión de los suelos.

Las medidas a implementar para reducir la vulnerabilidad deben de ir acompañadas de una evaluación económica de los impactos negativos que causen las amenazas. Aun cuando las pérdidas no siguen un patrón predecible por la variabilidad de los fenómenos (eventos con poca probabilidad de

ocurrencia causan mayores pérdidas y eventos más frecuentes y moderados presentan menores impactos), la comparación económica de las diferentes opciones permite a quienes formulan políticas centrar sus esfuerzos en los programas que ofrezcan los mayores beneficios esperados. Entre algunos instrumentos para reducir la vulnerabilidad se puede mencionar:

- Planificación y gestión del uso del suelo; esto se puede aplicar a nivel local, de finca o comunidad, mediante la planificación y ordenamiento territorial local.
- El manejo integrado de los recursos naturales dentro de las cuencas hidrográficas.
- La educación ambiental.
- La organización y participación comunitaria.
- Existencia de un marco de políticas, programas y proyectos de desarrollo coherentes con el ámbito local.
- Existencia de un marco institucional adecuado, con mecanismos para poner en práctica las medidas de reducción de la vulnerabilidad.
- Implementación de obras de protección en zonas poco manejables.

### **2.3.2. Amenaza**

La amenaza corresponde a un fenómeno de origen natural, socionatural, tecnológico o antrópico en general, definido por su naturaleza, ubicación, recurrencia, probabilidad de ocurrencia, magnitud e intensidad (capacidad destructora).

Como ejemplos de amenaza se tiene: inundación, deslizamiento, sismo, erupción volcánica, sequía, explosión industrial, incendio, guerra, entre otros, en un contexto particular: presencia de estos fenómenos en un espacio vulnerable.

La amenaza no existe en absoluto, lo que existe como tal es el fenómeno. Se habla de amenaza porque existen elementos o una comunidad amenazada o que sea considerada como tal actualmente o que podría serlo en un futuro. Por tanto, la amenaza es un concepto construido o elaborado que no es estático sino dinámico. La dinámica de la amenaza corresponde al hecho de que un fenómeno puede representar o ser considerado como una amenaza para una comunidad y no para otra, o puede ser una amenaza para una comunidad en un tiempo determinado y, más adelante, perder este carácter.

#### **2.3.2.1. Amenazas naturales**

Proviene de la dinámica propia del planeta tierra, que está en permanente transformación. Normalmente los seres humanos no intervienen en la ocurrencia de estos fenómenos ni están normalmente en capacidad práctica de evitar que se produzcan. Estas amenazas pueden ser:

- Geológicas: que incluyen a fenómenos como los sismos y terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, hundimientos, entre otros.
- Hidrometeorológicas o climáticas: son productos directos de condiciones climáticas atmosféricas; se incluyen entre estos los huracanes, tormentas tropicales, tornados, granizadas, tormentas eléctricas, temperaturas extremas, sequías, incendios forestales, inundaciones, desbordamientos, entre otros.

#### **2.3.2.2. Amenazas antrópicas**

Son aquellas claramente atribuibles a la acción humana sobre los recursos naturales, el ambiente o la población, que ponen en grave peligro la integridad física o la calidad de vida de las poblaciones. Las principales

amenazas de esta naturaleza son: la contaminación, por el vertimiento de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas al ambiente.

### **2.3.2.3. Amenazas socionaturales**

Las amenazas socionaturales son la reacción de la naturaleza frente a la acción humana perjudicial hacia los ecosistemas. Lo trascendental en este caso es que quienes sufren los efectos de esas reacciones no son siempre los mismos que las han provocado. El ejemplo típico en Guatemala es que las consecuencias de la deforestación y sobreexplotación de los suelos en las cabeceras de una cuenca hidrográfica, son padecidas en forma de inundaciones por las comunidades que habitan la parte baja de la misma cuenca hidrográfica.

### **2.3.3. Riesgo**

El concepto corresponde a un valor relativo probable de pérdidas de toda índole en un sitio específico vulnerable a una amenaza particular, en el momento del impacto de esta y durante todo el período de recuperación y reconstrucción que le sigue. El riesgo resulta entonces del cruce probable en un espacio y un tiempo de una amenaza de magnitud determinada y de un elemento relativamente vulnerable a ella. Por tanto, la magnitud del riesgo depende de la amenaza y del grado de vulnerabilidad.

#### **2.3.3.1. Características del riesgo**

En el riesgo se pueden diferenciar cuatro características importantes:

- Es dinámico y cambiante: es un proceso en movimiento, siempre en vías de actualización. La construcción de un escenario de riesgo se considera sobre la exploración de qué pasa si cambian en uno u otro sentido las amenazas y los factores de vulnerabilidad.
- Es diferenciado: en la medida en que no afecta de la misma manera a los distintos actores presentes en una comunidad, por eso es que no todos los actores perciben de la misma manera el riesgo.
- Es latente y potencial y su grado depende de la intensidad probable de la amenaza y los niveles de vulnerabilidad existentes.
- Es social, puesto que no es determinado por fuerzas sobrenaturales ni por fenómenos de la naturaleza, sino que surge del proceso de interacción continua y permanente entre la comunidad humana y su entorno ambiental.

### **2.3.3.2. La gestión del riesgo**

La gestión del riesgo es la capacidad de una comunidad de manejar y transformar las condiciones que favorecen un desastre antes que ocurra. Se fundamenta en el conocimiento de los factores (amenazas y vulnerabilidad) que al combinarse producen efectos negativos (desastre) sobre una comunidad y su entorno, a manera de evitarlos interviniendo sobre las causas que los producen o favorecen.

Es difícil y con frecuencia imposible llegar a un nivel de riesgo cero, por tanto, el objetivo es alcanzar el nivel de riesgo “aceptable”. La aceptabilidad del riesgo por parte de una comunidad depende del grado esperado de desestabilización y de la relación costo/beneficio al comparar el costo de medidas de mitigación (donde se actúa tanto sobre la amenaza como sobre la vulnerabilidad para disminuir el riesgo) y el valor previsto del riesgo. Por tanto,

el grado de aceptabilidad del riesgo es propio de una comunidad y de su disposición e intereses en asumirlo. Siendo el riesgo el resultado del cruce entre una amenaza y una sociedad vulnerable a ella, se entiende que una situación de riesgo es dinámica, es decir que está en constante evolución y cambio, aumentando o disminuyendo por causa de la amenaza o de la vulnerabilidad.

#### **2.3.4. Desastre**

Un desastre es un suceso en que se causan pérdidas, corresponde a consecuencias extremas reales del impacto de una amenaza de magnitud específica sobre un elemento con determinada vulnerabilidad a ella, generando una situación de crisis, es decir alteraciones extremas del funcionamiento habitual de dicho elemento por pérdidas humanas y materiales que superan su capacidad de soportarlas, lo que demuestra su falta de preparación y lo deja por un tiempo en un estado de gran desamparo. La recuperación y la salida de la crisis no son posibles sin ayuda externa.

##### **2.3.4.1. Causas y efectos de los desastres**

Un desastre nunca es repentino, puesto que siempre resulta del desarrollo progresivo de una situación de vulnerabilidad, la cual es revelada en el momento del impacto y de la evaluación del desastre. Este es la materialización del riesgo, ya no se trata de una situación probable, sino que los daños y pérdidas son bien reales y efectivos y, además, de gran magnitud, generando la gestión de una situación distinta a la del riesgo y determinada por otros parámetros.



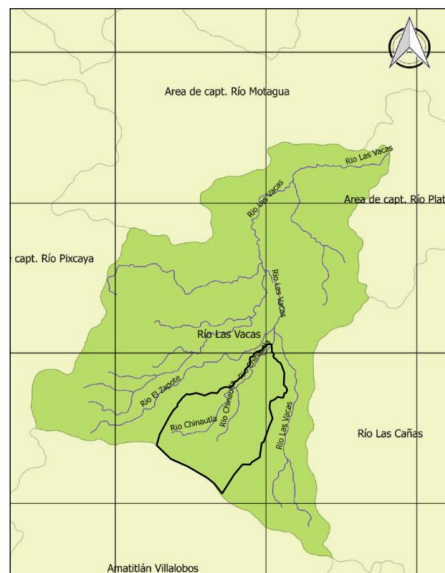


### 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHINAUTLA

#### 3.1. Ubicación geográfica y delimitación de la cuenca del río Chinautla

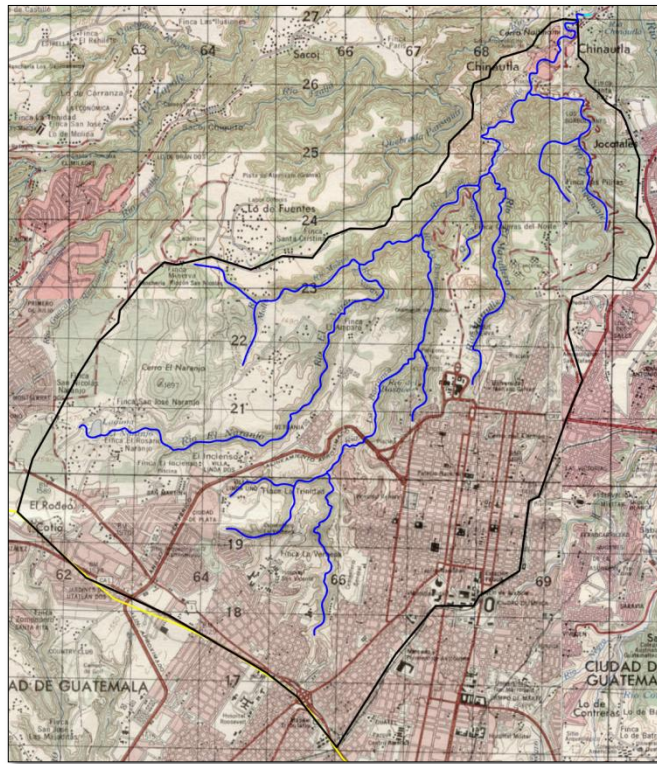
El río Chinautla se encuentra dentro de la microcuenca del río Las Vacas, que pertenece a la subcuenca del río Plátanos, y esta pertenece a la cuenca del río Motagua, en la vertiente del Caribe. Al norte limita con la microcuenca del río Motagua, al este con la microcuenca del río los Plátanos y del río las Cañas, al sur con la microcuenca de Villa Lobos y al oeste con la microcuenca del río Pixcaya. En la figura 8 y 9 se muestra la ubicación geográfica de la cuenca del río Chinautla.

Figura 8. Ubicación geográfica de la cuenca del río Chinautla



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis.

Figura 9. **Cuenca del río Chinautla**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### **3.2. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chinautla**

Los parámetros morfométricos de una cuenca son resultado de la interacción de la geografía, el clima y el movimiento del agua superficial. Estos influyen profundamente en el comportamiento hidrológico de la zona de estudio. Pueden ser de tres tipos: de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica. Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se precisa de información cartográfica de la topografía de la zona de estudio, y para realizar los análisis de la cuenca se utilizaron mapas a escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### **3.2.1. Área de drenaje de la cuenca del río Chinautla (A)**

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Es decir, delimitada por la divisoria de aguas, que no es más que una línea imaginaria que pasa por los puntos de mayor nivel topográfico para separarla de otras cuencas. Para la cuenca de estudio se ha obtenido un área de 47,98 km<sup>2</sup>, la cual se calculó mediante el programa AutoCAD.

### **3.2.2. Perímetro de la cuenca del río Chinautla (P)**

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divisoria es un parámetro importante, pues en conexión con el área da parámetros sobre la forma de la cuenca. Para la cuenca de estudio hemos obtenido un perímetro de 31,76 km que se calculó mediante el programa de AutoCAD.

### **3.2.3. Red de drenaje**

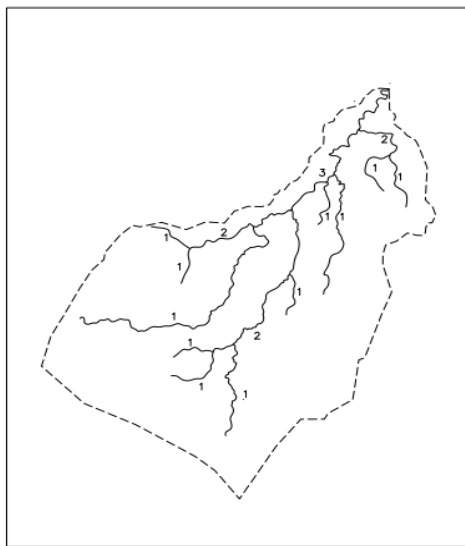
La forma en que estén conectados los ríos en una cuenca determinada influye en la respuesta de esta a un evento de precipitación. Se ha desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje en la escorrentía superficial directa. Según el modelo de Strahler, se toma como canales de primer orden todos aquellos que no tengan afluentes; cuando se unen dos canales de primer orden forman un canal de segundo orden y así sucesivamente.

Son números que reflejan el grado de ramificaciones de la red de drenaje. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza a través de las siguientes condiciones:

- Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden y, en general, los cauces de orden  $n$  se forman cuando dos cauces de orden  $n-1$  se unen.
- Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes.
- El orden de la cuenca es el mismo de su cauce principal a la salida.
- Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios.

En la figura 10 se muestra la distribución de los ríos de la cuenca Chinautla. Con base en el análisis realizado se determinó que el orden de la cuenca de río es 3.

Figura 10. **Orden de la cuenca del río Chinautla**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 3.2.4. Relación de bifurcación ( $R_B$ )

Después de optar por un modelo de ordenación de los canales de una cuenca, es posible definir la relación de bifurcación,  $R_b$ , como el resultado de dividir el número de canales de un orden dado entre el número de canales del orden inmediatamente superiores.

$$R_b = \frac{N_n}{N_{i+1}} \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde:

$R_b$  : Es el valor medio de bifurcación

$N_n$  : Es el número de cauces de orden  $n$

$N_{i+1}$ : Es el número de cauces de orden  $i + 1$

La relación de bifurcación de la cuenca del río Chinautla se calcula con la ecuación 3 y con los datos de la figura 1, para ello se observa que son once cauces de orden uno, tres cauces de orden dos y un cauce de orden tres.

$$R_{b1} = \frac{11}{3} = 3,67$$

$$R_{b2} = \frac{3}{1} = 0,33$$

### 3.2.5. Relación de longitud ( $R_L$ )

Se define como la relación entre las longitudes promedio de cauces de órdenes sucesivos.

$$Rl = \frac{L_i}{L_{i+1}} \quad (\text{Ec. 4})$$

En donde:

$R_L$  : Es la relación de longitud

$L_i$  : Es la longitud de cauces de orden  $i$

$L_{i+1}$ : Es la longitud de cauces de orden  $i + 1$

La relación de longitud de la cuenca del río Chinautla se calcula con la ecuación 4 y con los datos de la longitud de los cauces del mismo orden, los cuales se obtuvieron por medio de AutoCAD y se comprenden de la siguiente manera: 25,23 km para cauces de orden uno, 7,79 km para cauces de orden 2 y 5,36 km para cauces de orden 3.

$$R_{11} = \frac{5,36}{7,79} = 0,68$$

$$R_{12} = \frac{7,79}{25,23} = 0,31$$

### **3.2.6. Densidad de drenaje ( $D$ )**

Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. Los valores bajos de  $D$  generalmente están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables y de bajo relieve. Valores altos fundamentalmente son encontrados en regiones de suelos impermeables, con poca vegetación y de relieve montañoso.

$$D = \frac{\sum L_i}{A} \quad (\text{Ec. 5})$$

En donde:

$D$  : Es la densidad de drenaje

$\sum L_i$  : Es la suma de todas las longitudes del cauce

$A$ : Es el área de la cuenca

La densidad de drenaje de la cuenca del río Chinautla se calcula con la ecuación 5 y con la longitud total de los cauces de orden 1, 2 y 3, los cuales suman 38,38 km:

$$D = \frac{38,38}{47,98} = 0,80$$

### 3.2.7. Frecuencia de cauces (F)

Se define como la frecuencia de cauces y como la relación entre el número de cauces y su área correspondiente:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^k N_1}{A} \quad (\text{Ec. 6})$$

En donde:

$F$  : Es la frecuencia de cauces

$\sum_{i=1}^k N_1$  : Es la suma de todos los cauces

$A$ : Es el área de la cuenca

La frecuencia de la cuenca del río Chinautla se calcula con la ecuación 6 y el número total de cauces es 15. Si el valor se toma como porcentaje se puede decir que los cauces se mantienen en un 30 % del área de la cuenca.

$$D = \frac{15}{47,98} = 0,31$$

### **3.3. Parámetros de la forma de la cuenca**

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar estas características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrógrafa). Puede haber dos cuencas con la misma área pero tienen repuestas diferentes porque no tienen la misma forma. Los parámetros que miden la forma de la cuenca son el índice de Gravelius o coeficiente de compacidad ( $K_C$ ) y el factor de forma ( $K_f$ ).

#### **3.3.1. Coeficiente de compacidad ( $K_C$ )**

Es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área igual a la de la cuenca.

$$K_C = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Ec. 7})$$

$P$  es el perímetro de la cuenca (Km) y  $A$  es el área de la cuenca en ( $\text{Km}^2$ ). Un coeficiente de compacidad alto da a entender que la cuenca es muy irregular. Las cuencas que tengan un coeficiente igual a 1 tendrán forma circular.



$$K_C = 0,282 \frac{31,76}{\sqrt{47,98}} = 1,29$$

### 3.3.2. Factor de forma ( $K_F$ )

Es la relación que existe entre el ancho medio y la longitud del cauce principal de la cuenca.

$$K_F = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Ec. 8})$$

En donde:

$K_F$  : Es el factor de forma

$B$  : Es el ancho medio de la cuenca

$L$  : Es la longitud del cauce principal

$A$ : Es el área de la cuenca

Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecidas que una de la misma área y mayor factor de forma.

$$K_F = \frac{47,98}{12,67^2} = 0,30$$

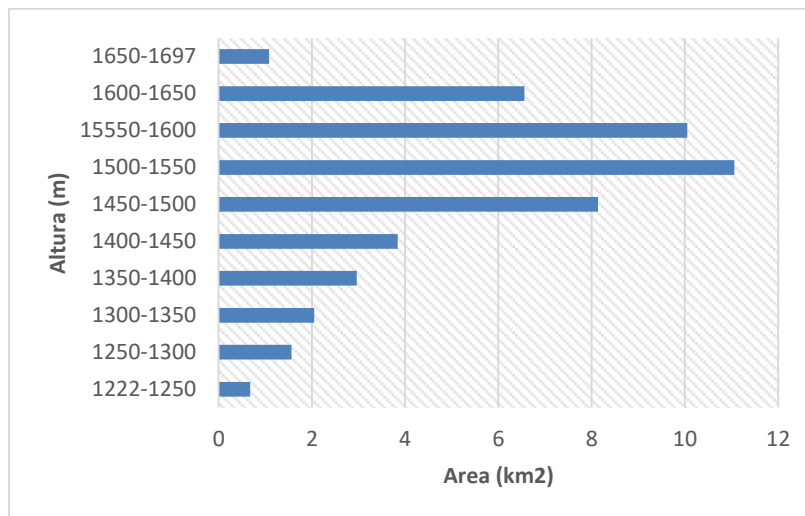
## 3.4. Características del relieve

### 3.4.1. Histograma de frecuencias altimétricas (S)

Es la representación de la superficie, en  $\text{km}^2$  o en porcentaje, comprendida entre dos niveles, siendo la marca de clase el promedio de las

alturas. De esta forma, con diferentes niveles se puede formar el histograma. Este diagrama de barras puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente contiene la misma información de esta pero con una representación diferente, dando una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca. En la figura 11 se presenta el histograma de frecuencias altimétricas de la cuenca del río Chinautla. Según este análisis la cuenca presenta alturas desde 1 222 msnm hasta 1 697msnm, más del 60,00 % del área de la cuenca se encuentra entre las alturas de 1 400 msnm a 1 650 msnm.

Figura 11. **Histograma de frecuencias altimétricas**



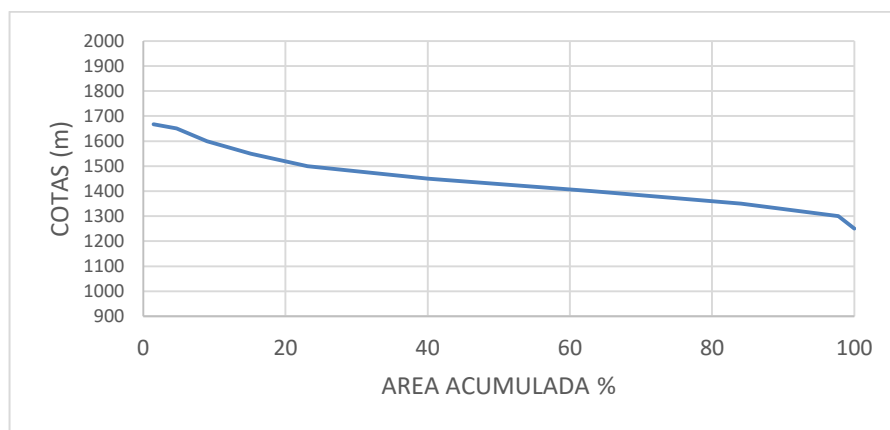
Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2. Curva hipsométrica

Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. La curva hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un

plano y su elevación. En la figura 12 se presenta la curva hipsométrica de la cuenca del río Chinautla. En esta se puede observar que aproximadamente a una altura de 1 400 msnm se tiene el 60 % del área de la cuenca y el otro 40 % se encuentra debajo de este nivel.

Figura 12. **Curva hipsométrica**



Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. **Pendiente del cauce principal**

Se pueden definir varias pendientes del cauce principal: la pendiente media, la pendiente media ponderada y la pendiente equivalente.

#### 3.4.3.1. **Pendiente media ( $S_M$ )**

Es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo. La pendiente media de la cuenca del río Chinautla es de 22,09 %.

$$S_M = \frac{H_{MAX} - H_{MIN}}{L} \text{ (Ec. 9)}$$

En donde:

$S_M$  : Es la pendiente media de la cuenca

$H_{Max}$ : Es la altura máxima del cauce

$H_{Min}$ : Es la altura mínima del cauce

$L$  : Es la longitud del cauce principal

$$S_M = \frac{1480 - 1200}{12,67} = 22,09\%$$

## **4. APLICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HEC-RAS EN EL TRAMO DEL RÍO CHINAUTLA, EN LA ALDEA SANTA CRUZ, CHINAUTLA**

### **4.1. Introducción al programa HEC-RAS**

El programa HEC-RAS fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers). HEC-RAS es un modelo hidráulico diseñado para ayudar en el análisis de canales de flujo y determinación de llanura de inundación. Los resultados del modelo se pueden aplicar en el manejo de llanuras de inundación, estudios de sistemas de alertas tempranas y diseño de obras de protección contra inundaciones.

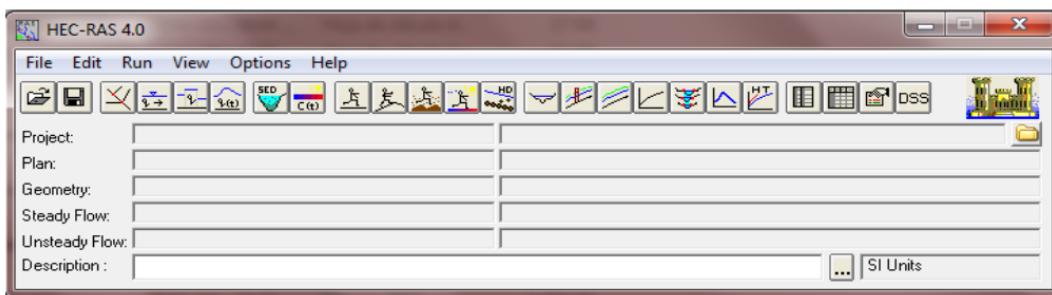
El procedimiento principal utilizado por HEC-RAS para calcular perfiles de agua superficial parte del supuesto de que el flujo varía gradualmente y este es llamado el método de paso directo. El procedimiento de cálculo básico se basa en una solución iterativa de la ecuación de energía.

Teniendo en cuenta el flujo y la elevación de la superficie del agua en una sección, el objetivo del método de paso directo consiste en calcular la elevación de la superficie del agua en la sección adyacente. Si los cálculos proceden de arriba hacia abajo, o viceversa, depende del régimen de caudales. El número de Froude se utiliza para caracterizar el régimen del flujo.

Para un flujo subcrítico, lo cual es muy común en canales naturales, los cálculos iniciales comenzarían en el extremo inferior del tramo, aguas arriba y el

progreso entre las secciones adyacentes. Para flujo supercrítico los cálculos se iniciarían en el tramo aguas arriba y procediendo aguas abajo. En la figura 13 se muestra la ventana de inicio del programa HEC-RAS.

Figura 13. **Ventana de inicio de HEC-RAS**

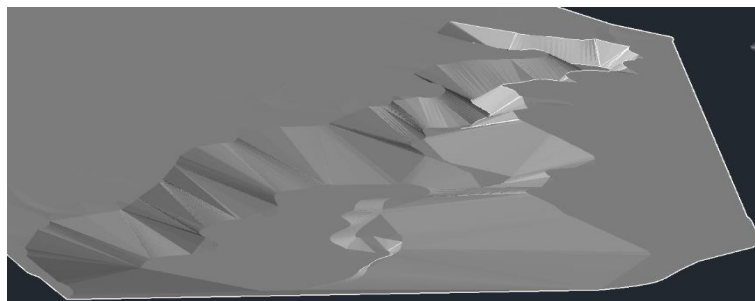


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. **Procesamiento y análisis de la información**

Con el procesamiento de la información recolectada se pretende determinar el comportamiento del río Chinautla, con caudales máximos para varios períodos de retorno propios del tramo de estudio, con el fin de reducir el riesgo de inundaciones a través del diseño de obras de protección.

Figura 14. **Vista 3D del área de inundación del río Chinautla**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 4.3. Caudales del río Chinautla

Los caudales utilizados en la simulación hidráulica en el programa HEC-RAS fueron calculados utilizando el documento *Análisis regional de crecidas para la República de Guatemala*, del departamento de Investigación y Servicios Hídricos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). En las tablas IV y V se muestran los valores de N, B y A, y los cuantiles de caudales modulares para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100, que son los que se utilizarán para generar los caudales y analizarlos con el programa HEC-RAS.

Tabla II. **Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas**

<b>Regiones</b>	<b>N</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
Región 1: Altiplano Occidental	11	0,08	1,03
Región II: Pacífico suroccidental	10	0,84	0,24
Región III: Pacífico Suroriental	10	0,26	1,04
Región IV: Altiplano Oriental	4	0,15	1,21
Región V: Motagua	12	3,62	0,64
Región VI: Polochic- Cahabón y Bajo Motagua	17	0,75	0,91
Región VII: Planicie del Petén	5	0,22	0,90
Región VII: Noroccidental	17	2,99	0,65

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en el INSIVUMEH.

Tabla III. **Cuantiles de caudales modulares regionales de acuerdo a las distribuciones Gumbel y Log-Normal**

Tr	Región								Región							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	Gumbel								Log-Normal							
100	4,05	3,79	4,48	5,06	3,30	3,02	2,86	3,40	3,59	3,62	5,62	5,66	3,01	3,61	3,35	3,56
50	3,53	3,32	3,89	4,37	2,91	2,67	2,54	2,99	3,04	3,05	4,06	4,43	2,61	2,87	2,71	2,95
25	3,01	2,84	3,29	3,67	2,51	2,32	2,22	2,58	2,53	2,53	2,87	3,37	2,23	2,25	2,17	2,40
10	2,30	2,19	2,48	2,73	1,98	1,85	1,79	2,02	1,89	1,88	1,75	2,20	1,74	1,59	1,58	1,76
5	1,74	1,68	1,84	1,99	1,55	1,48	1,44	1,57	1,43	1,42	1,16	1,46	1,38	1,20	1,21	1,33

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en el INSIVUMEH.

Con base en las fórmulas de estimación de caudales y las tablas III y IV, se generan los caudales para el análisis de inundaciones para los períodos de 5, 10, 25, 50 y 100 años que se muestran en la tabla V.

Tabla IV. **Caudales resultantes de utilizar la distribución Gumbel para diferentes períodos de retorno**

El flujo en el río Chinautla se determina de acuerdo con el número de Froude, con base en los caudales obtenidos en las tablas VI y VII, y se determina que para períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, el flujo es subcrítico y supercrítico, y el cauce es suficientemente grande para no generar inundaciones, y para períodos de retorno de 100 años el flujo es supercrítico pero sí existen inundaciones.



Tabla V. **Régimen del flujo del tramo de estudio del río Chinautla para períodos de retorno de 5, 10 y 25 años**

Tiempo de retorno	5 años			10 años			25 años		
Unidades	Q (m3/s)			Q (m3/s)			Q (m3/s)		
Caudal	93.03			158.17			215.2		
Estacionamiento	V (m/S)	FR	Régimen	V (m/S)	FR	Régimen	V (m/S)	FR	Régimen
0+100	3,80	2,05	Supercritico	10,20	5,49	Supercritico	13,41	7,22	Supercritico
0+200	2,52	1,36	Supercritico	6,77	3,33	Supercritico	8,90	4,80	Supercritico
0+300	2,33	0,86	Supercritico	6,25	2,20	Supercritico	8,22	2,89	Supercritico
0+400	2,27	1,01	Supercritico	6,09	2,7	Supercritico	8,02	3,56	Supercritico
0+500	2,13	0,97	Subcritico	5,71	2,59	Supercritico	7,51	3,41	Supercritico
0+600	1,77	0,62	Subcritico	4,75	1,67	Supercritico	6,24	2,20	Supercritico
0+700	1,62	0,55	Subcritico	4,35	1,46	Supercritico	5,72	1,93	Supercritico
0+800	1,45	0,80	Subcritico	3,88	2,14	Supercritico	5,11	2,81	Supercritico
0+900	1,20	0,40	Subcritico	3,21	1,06	Supercritico	4,23	1,40	Supercritico
1+000	0,97	0,46	Subcritico	2,59	1,24	Supercritico	3,41	1,63	Supercritico
1+100	0,70	0,28	Subcritico	1,88	0,74	Subcritico	2,48	0,98	Subcritico
1+200	0,67	0,23	Subcritico	1,81	0,63	Subcritico	2,38	0,83	Subcritico

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Régimen del flujo del tramo de estudio del río Chinautla para períodos de retorno de 50 y 100 años**

Tiempo de retorno	50 años			100 años		
Unidades	Q (m3/s)			Q (m3/s)		
Caudal	257,10			299,22		
Estacionamiento	V (m/S)	FR	Régimen	V (m/S)	FR	Régimen
0+100	15,74	8,49	Supercritico	18,13	9,76	Supercritico
0+200	10,47	5,65	Supercritico	12,03	6,49	Supercritico
0+300	9,67	3,40	Supercritico	10,15	4,61	Supercritico
0+400	9,43	4,18	Supercritico	10,84	4,81	Supercritico
0+500	8,83	4,01	Supercritico	10,15	4,61	Supercritico
0+600	7,35	2,59	Supercritico	8,44	2,97	Supercritico
0+700	6,73	2,27	Supercritico	7,73	2,60	Supercritico
0+800	6,01	3,31	Supercritico	6,91	3,80	Supercritico
0+900	4,97	1,65	Supercritico	5,72	1,89	Supercritico

Continuación tabla VI.

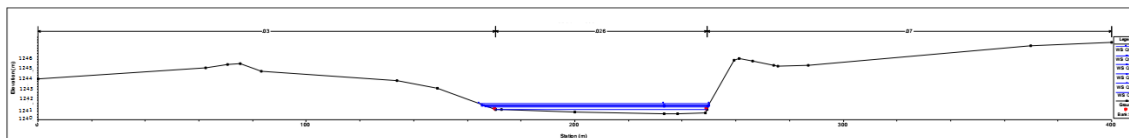
0+1000	4,02	1,91	Supercrítico	4,61	2,20	Supercrítico
0+1100	2,92	1,15	Supercrítico	3,35	1,32	Supercrítico
0+1200	2,80	0,97	Subcrítico	3,22	1,12	Supercrítico

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Simulación de inundación en el tramo de estudio del río Chinautla

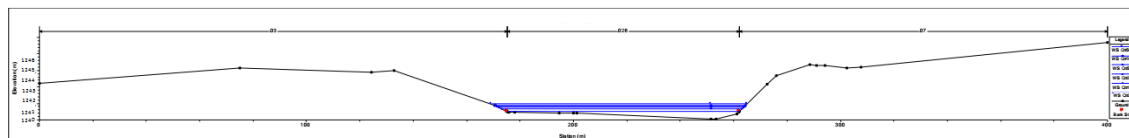
En las figuras 15 a la 27 se muestra el análisis realizado con el programa HEC-RAS y se determina que el área de desbordamiento del río se encuentra entre las estaciones 1+000 a la 1+200. A lo largo de 170 metros se puede observar la inundación en ambos márgenes del río, esto debido a que se encuentra en un área muy plana y, al provocarse una avenida, esta fácilmente afecta a las viviendas más cercanas al cauce.

Figura 15. Simulación hidráulica en la sección 0+000



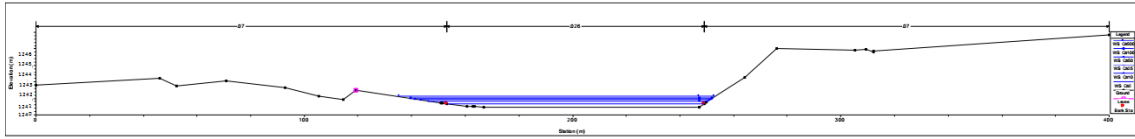
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 16. Simulación hidráulica en la sección 0+100



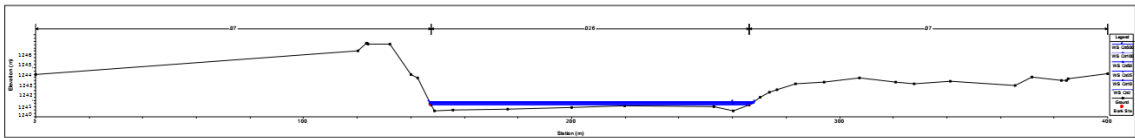
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 17. **Simulación hidráulica en la sección 0+200**



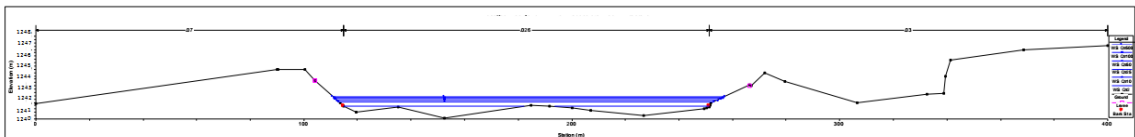
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 18. **Simulación hidráulica en la sección 0+300**



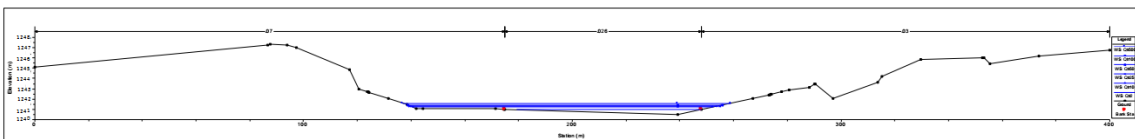
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 19. **Simulación hidráulica en la sección 0+400**



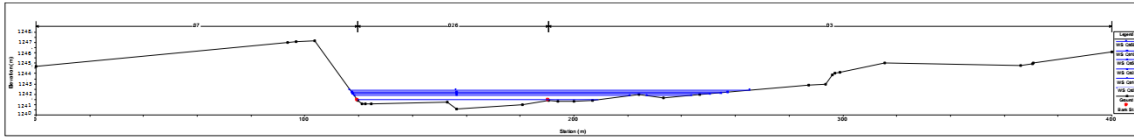
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 20. **Simulación hidráulica en la sección 0+500**



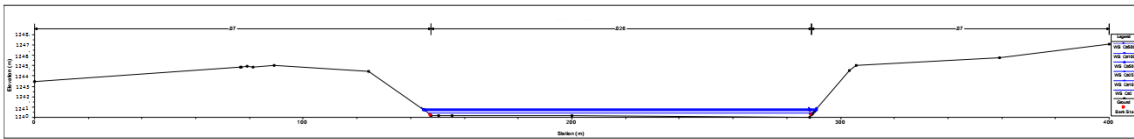
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

**Figura 21. Simulación hidráulica en la sección 0+600**



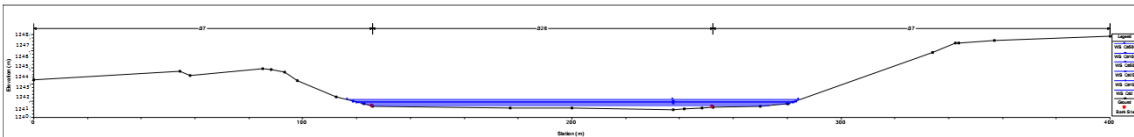
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

**Figura 22. Simulación hidráulica en la sección 0+700**



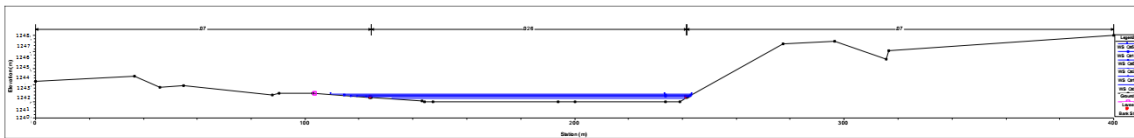
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

**Figura 23. Simulación hidráulica en la sección 0+800**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

**Figura 24. Simulación hidráulica en la sección 0+900**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.





## **5. PROPUESTA DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES**

### **5.1. Control del inundaciones**

Existen numerosas medidas de reducción del riesgo de inundación. En general, se dividen en dos grupos: medidas estructurales y medidas no estructurales. Las medidas estructurales engloban todas aquellas construcciones que reducen o evitan el posible impacto de la inundación, incluyendo un amplio rango de obras de ingeniería civil como, por ejemplo, la construcción de infraestructuras de protección y resistencia a la acción del agua, tales como diques o presas. Las medidas no estructurales incluyen políticas, concientización, desarrollo del conocimiento, reglas de operación, así como mecanismos de participación pública e información a la población, de modo que puede reducirse el riesgo existente y los impactos derivados de la inundación.

#### **5.1.1. Medidas estructurales**

La aplicación de medidas estructurales puede evitar las consecuencias de inundación hasta un determinado evento, denominado evento de diseño. Dado que siempre puede producirse un evento superior al de diseño para un determinado valor de probabilidad, existe siempre un nivel de riesgo residual, aun cuando la infraestructura se comportase perfectamente. Estas acciones consisten en la construcción de obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o con la que escurre por los ríos, para impedir su paso, confiarla, encauzarla, almacenarla o modificar su velocidad de desplazamiento y

caudales. Las obras que comúnmente se construyen para reducir inundaciones causadas por los desbordamientos de los ríos, son:

- Bordos perimetrales
- Bordos longitudinales
- Muros longitudinales
- Desvíos temporales
- Dragados

#### **5.1.1.1. Bordos perimetrales**

Consisten en bordos construidos alrededor de una zona particular y se utilizan para proteger áreas pequeñas, comúnmente se construyen de arcilla compactada y en ocasiones de arena. Los poblados son rodeados parcialmente o totalmente, dependiendo de la topografía, y tienen la ventaja de ser la solución más económica.

#### **5.1.1.2. Bordos longitudinales**

Son bordos construidos a lo largo de una o ambas márgenes de un río que permiten proteger grandes áreas (ciudades, pueblos o grandes extensiones de terreno con alta producción agrícola y ganadera). Su objetivo es trasladar las avenidas aguas abajo y no permitir el desbordamiento del río en las llanuras o planicies aledañas al bordo. Se procura que sean paralelos entre sí y se recomienda que estén suficientemente separados de las orillas del río, para disponer de un área hidráulica adicional y así lograr que la altura de los bordos sea menor.



### **5.1.1.3. Muros longitudinales**

Un muro longitudinal consiste en una frontera prácticamente vertical colocada en sustitución de un bordo, debido a que el volumen de la obra resulta ser demasiado grande o no se tiene el espacio suficiente para construir un bordo. Se construyen frecuentemente cuando se tienen arroyos o ríos que cruzan zonas urbanas o bien los terrenos son muy solicitados y se trata de ocupar el menor espacio. Por otra parte, el muro debe ser protegido contra la erosión colocando enroscamiento en el lado expuesto al río.

### **5.1.2. Dragado**

Otro método para poder controlar las crecidas son los dragados, es decir el conjunto de operaciones necesarias para la extracción, transporte y vertido de materiales situados bajo el agua, ya sea en el medio marino, fluvial o lacustre. Estas tres etapas son fundamentales en toda obra de dragado y deben analizarse con detenimiento para optimizar la operación. El dragado es una operación necesaria para el desarrollo y el mantenimiento de las infraestructuras en el medio marino y fluvial. Sin embargo, a pesar de su importancia en las obras marítimas y su vinculación al desarrollo económico y social, las técnicas de dragado siguen siendo una de las ramas más desconocidas de la ingeniería civil. La clasificación de las obras de dragado se divide de la siguiente manera:

- Según su objetivo: estas obras permiten mantener o ampliar los cauces de los ríos y mejorar su capacidad de desagüe. Los dragados tienen gran importancia en las obras portuarias, tanto en el mantenimiento y mejora de sus calados, como en el desarrollo de nuevas instalaciones o en la creación de nuevos puertos.

- Según su emplazamiento: la obra se puede realizar en mar abierto, en una zona costera, en aguas abrigadas o en el interior de un puerto, río o lago.
- Según las características del terreno: los terrenos a dragar pueden ser de naturaleza muy diversa, desde rocas duras hasta fangos, por lo que el comportamiento frente a la excavación, al transporte y al vertido es diferente en cada caso. La naturaleza del material a dragar condiciona en gran medida la draga y la técnica de dragado utilizada.

Antes de proyectar cualquier obra de dragado es necesario disponer de información geotécnica sobre el material a dragar, permitiendo así seleccionar el equipo de dragado adecuado y su rendimiento.

### **5.1.3. Medidas no estructurales**

Son todas aquellas que no están relacionadas con la construcción directa de obras y que permiten avisar a tiempo a la población que puede sufrir una inundación, así como el control y manejo de los escurrimientos, cuando ello es factible, para minimizar los daños. Se basan en la planeación, organización, coordinación y ejecución de una serie de ejercicios de protección civil que busca evitar o disminuir los daños causados por las inundaciones y puede ser de carácter permanente o aplicable solo durante la contingencia. Cuando una región se empieza a poblar y desarrollar se debe disponer de un plano de la llanura de inundación, mismo en que se limite la zona inundada por una avenida que tenga un período de retorno de 100 años, ya que ello ayudará a sentar las bases para el futuro desarrollo, uso de la tierra y otras regulaciones. Entre las acciones no estructurales se consideran las siguientes:

- Diseño, construcción y operación de sistemas de alerta, con base en estaciones hidrométricas y climatológicas, imágenes de satélite y

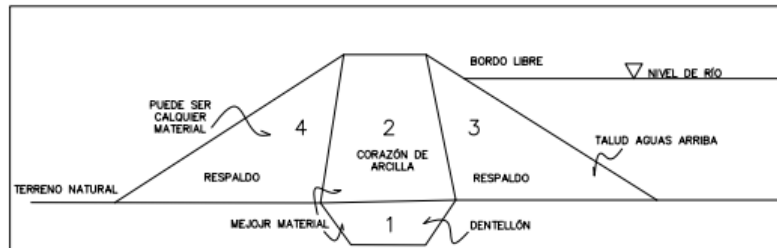
pronósticos meteorológicos.

- Elaboración o adquisición y manejo de modelos matemáticos, tanto hidrológicos como hidráulicos, que deberán ser validados con observaciones previas.
- Elaboración de mapas de riesgo por inundación (zonificación de toda la cuenca) al delimitar áreas en función de la frecuencia y duración de las inundaciones o del período de retorno de las avenidas.
- Elaboración e implantación de sistemas de seguros en función del valor de los bienes.
- Elaboración de normas para el uso de suelo, tomando en cuenta la zonificación de la cuenca
- Elaborar historiales con mapas, fotografías y otras pruebas existentes de las huellas que han dejado otros eventos en la llanura de inundación, para reducir las pérdidas de tiempo al momento de la inundación.

## **5.2. Propuesta de diseño de bordos para el tramo del río Chinautla**

Con base en el análisis realizado con el programa HEC-RAS, se determinaron las áreas de inundación del tramo de estudio del río Chinautla. De acuerdo a los datos obtenidos en los estudios antes citados se procederá a efectuar el diseño de los bordos de protección al margen del río. Para construir el bordo se debe proceder a limpiar bien el sitio y sacar material suelto hasta encontrar material firme, de preferencia arcilloso, para poder formar una capa impermeable. Si el material es roca fracturada es preferible correrse hacia arriba, ya que el agua se infiltrará por esas fracturas. En caso de no existir material arcilloso, el mejor material debe colocarse en la parte inferior del bordo (1), el que quede en la parte central y más inferior (2), y así hasta colocar el material menos bueno en los lados del bordo (3 y 4), como se muestra en la figura 28:

Figura 28. **Colocación de materiales según la permeabilidad**



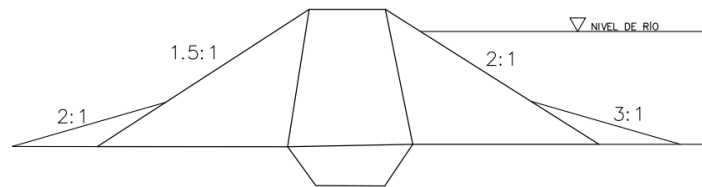
Fuente: PORTILLO, Armando. *Presas de tierra y bordos*. P. 105.

El bordo debe compactarse al menos con tres pasadas de tractor, haciéndolo con más cuidado en la parte central; se recomienda que el material este húmedo para una mayor compactación. Los taludes no deben ser muy verticales, pues esto es una de las causas de que los bordos fallen. Debe dejarse como mínimo un bordo libre de medio metro y que su altura esté por arriba del nivel máximo del agua. El bordo deberá estar de 1,00 a 1,50 m más arriba que el piso del vertedor, además debe considerarse que el bordo va sufrir un asentamiento natural debido al agua y a su propio peso. Cuando se presenten condiciones para bordos mayores a 3 m de altura se debe considerar lo siguiente:

- Utilizar materiales de buena calidad para la construcción del bordo.
- Compactar cuidadosamente el material en capas no mayores de 30cm e irlo humedeciendo para obtener mayor compactación.
- Los taludes del bordo deberán ser más tendidos, sobre todo el de las aguas arriba.
- Para mayor seguridad: construir banquetas o delantales a los pies del bordo, como se observa en la figura 29:

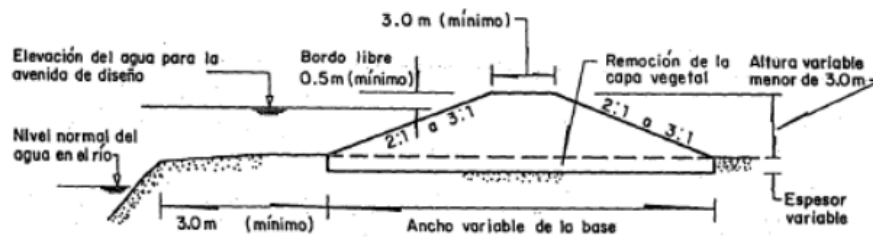
En la figura 30 se muestran las dimensiones mínimas para bordos menores de 3 m de altura, y en la figura 31 se muestran las dimensiones mínimas para bordos mayores a 3 m de altura.

Figura 29. **Diseño de banquetas a los pies de los bordos**



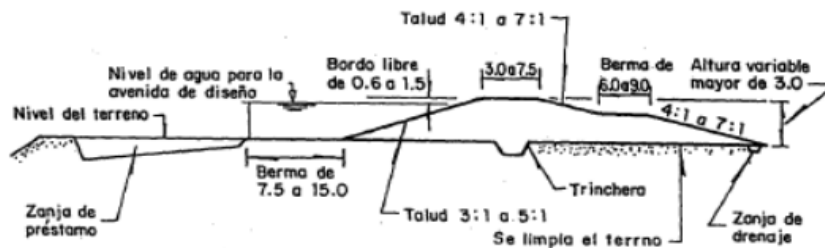
Fuente: PORTILLO, Armando. *Presas de tierra y bordos*. P. 13.

Figura 30. **Dimensiones mínimas para bordos menores a 3m**



Fuente: PORTILLO, Armando. *Presas de tierra y bordos*. P. 13.

Figura 31. Dimensiones mínimas para bordos mayores a 3m



Fuente: PORTILLO, Armando. *Presas de tierra y bordos*. P. 13.

Los factores a considerar en el diseño varían de proyecto a proyecto en función de las condiciones locales del sitio. Algunos de estos se enlistan a continuación:

- Los estudios preliminares brindarán las condiciones del sitio, tanto del material de desplante como de la posible localización de los bancos y zonas de préstamo.
- Las exploraciones finales en el sitio tendrán como objetivo definir el perfil estratigráfico del subsuelo, las condiciones y características de los materiales donde se desplantarán los bordos e información más detallada sobre las áreas de préstamo.
- Se determinará en forma preliminar las secciones transversales de los terraplenes y las variables que regirán las condiciones de la cimentación de los bordos.
- Se debe estudiar, para cada sección transversal, las condiciones del flujo subterráneo bajo el desplante y la red de flujo a través del cuerpo del bordo, así como la estabilidad de sus taludes y los posibles asentamientos que pueda sufrir.
- Se deben identificar las posibles zonas en donde haya que dar un

tratamiento especial al suelo de cimentación.

- Se deben definir las cantidades de los materiales necesarios para la construcción de la obra
- Se definirá la localización final de las zonas de préstamo en función de los volúmenes requeridos de materiales térreos.
- Se diseñará, de ser necesaria, la protección que requiera el terraplén.
- En zonas donde las características del material del bordo y de la cimentación sean buenas, se pueden escoger taludes relativamente fuertes, en cambio, cuando ello no ocurre, se recomiendan taludes más tendidos.

#### **5.2.1. Diseño del bordo**

El análisis de la estabilidad de las secciones del bordo, incluida su cimentación, no llega a ser necesario cuando el bordo es de altura pequeña y está desplantado en un buen sitio; cuando esto último no ocurre o el material de préstamo es de baja calidad se recomienda hacer un análisis detallado de la estabilidad del terraplén.

Si el bordo se compacta, la pendiente del terraplén puede ser menos tendida que en uno semicompactado. Un talud se considera poco tendido cuando los valores de este son 1 vertical y menos o igual que 2 horizontal (2:1); cuanto menor es la relación el talud es menos tendido. Se deberá estudiar la estabilidad del bordo tomando en cuenta los materiales disponibles para su construcción y el material del terreno en que será desplantado; sin embargo, si el material es arcilla se podrán considerar taludes de 2, y si el material es arena el talud mínimo recomendado es de 3:1.

El terraplén de los bordos puede ser compactado, semicompactado o sin compactación, generalmente la sección transversal se forma con una combinación de las condiciones mencionadas en regiones de alta sismicidad y se recomienda dar un alto grado de compactación. Por otra parte, si no hay un adecuado tratamiento de la zona de cimentación del bordo como, por ejemplo, no hacer una buena extracción del material orgánico, colocación de capas permeables a través de todo el terraplén y mala compactación del terraplén, puede presentarse entre otros problemas: asentamientos diferenciales e infiltración bajo el terraplén, lo que llega a producir erosión y falla del mismo.

La altura del bordo es igual a la altura del tirante del agua, que corresponde a la avenida de diseño más la altura del oleaje si lo hubiera, y el alcance del mismo más un bordo libre. Además debe agregarse una altura que corresponda al valor del asentamiento que alcance a sufrir la estructura, ya que de ocurrir dicho asentamiento y se puede llegar a perder el bordo libre. El bordo libre varía entre 0,5 y 2,0 m según la importancia de la obra y la seguridad que se tiene en la determinación del caudal y de las elevaciones del perfil de agua, el ancho de la corona del bordo deberá permitir el tránsito de un vehículo, por lo tanto el ancho mínimo recomendado es de 3,00 m.

Deberán descartarse los materiales limosos. Si el material es arenoso se deberá revisar el paso o longitud de filtración y, de ser necesario, se abatirán los taludes o se ampliará el ancho de la corona. Para chequear estos parámetros se detallan las ecuaciones de la 10 a la 14.

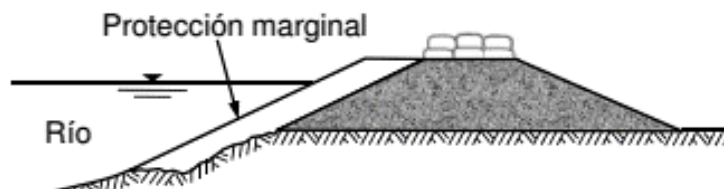
Cuanto mayor sea la longitud de los bordos mayor es la longitud del ramo en que se evitan inundaciones debido a desbordamientos y, por lo tanto, el caudal de la avenida es confinado en una mayor longitud. Para el tramo de



estudio del río Chinautla se diseñará un bordo con una longitud de 170 m en ambos márgenes del río.

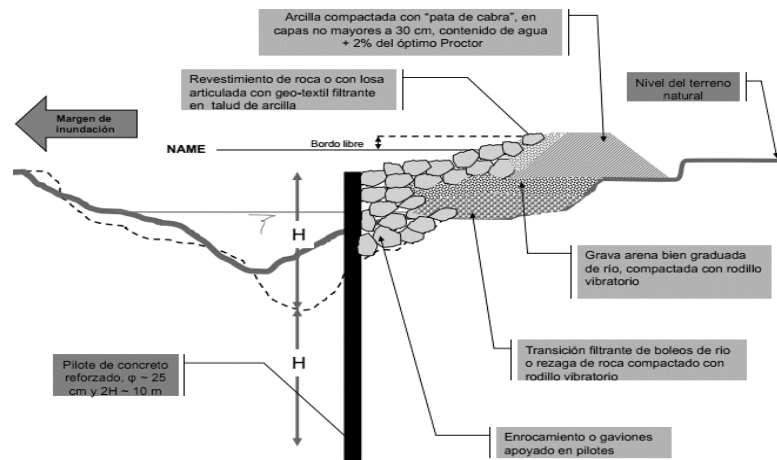
En la figura 32 se muestra el bordo con una protección marginal de piedra y en la figura 33 se muestra el diseño de un bordo con protección de pilotes de concreto, ambos son elementos de protección que permiten que la erosión del bordo se disminuya.

Figura 32. **Bordo con protección marginal de piedra**



FUENTE: AUVINET, Gabriel. *Diseño de bordos de protección*. P. 8

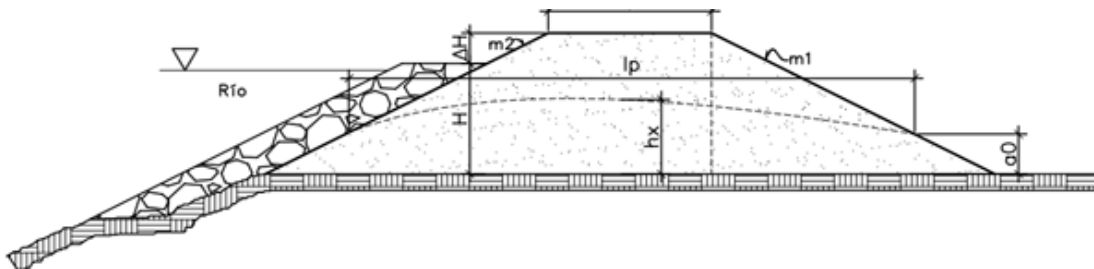
Figura 33. **Bordo con protección marginal de pilotes**



FUENTE: AUVINET, Gabriel. *Diseño de bordos de protección*. P. 106

Para poder predimensionar el bordo de protección se toman como referencia las dimensiones mínimas descritas en la figura 30, y se calculan los parámetros variables de diseño como longitudes de filtración y altura de la curva de filtración. Para chequear su estabilidad se muestran en la figura 34, y en la figura 35 se muestra el diseño de bordo para la estación 1+100.

Figura 34. **Parámetros de diseño de bordos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

$$L_p = (m_1 * \Delta H) + b + \gamma H + m_2(H + \Delta H) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$q = \frac{K_p(h+\Delta H)^2}{L_p + \sqrt{L_p^2 - (m_2^2 * m_0^2)}} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$L_p = (0.05 + m_2) * \frac{q}{K_p} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$h_x = \sqrt{2 * \frac{q}{K_p} (L_p - x - (m_2 * a_0)) + a_0^2} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$\gamma = \frac{m_1}{1+2*m_1} \quad (\text{Ec. 14})$$

En donde:

$b$  = Ancho de corona

$K_p$  = Coeficiente de filtración del material de la presa

$L_p$  = Longitud de filtración

$h_x$  = Altura de la curva de filtración a una distancia  $x$

$\Delta H$  = Altura libre sobre la corona

$m_1$  = Pendiente del talud que no está en contacto con el río

$m_2$  = Pendiente del talud que está en contacto con el río

$$L_p = (2 * 0.5) + 3 + 0.2 + 2(1.60 + 1) = 9,40$$

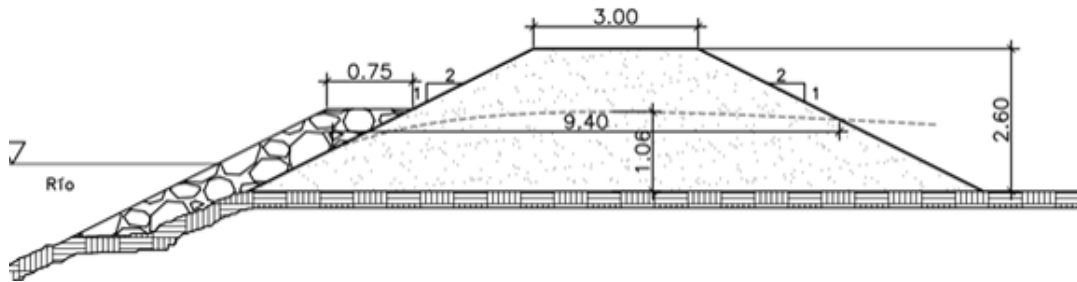
$$q = \frac{1(1.60 + 1)^2}{10.70 + \sqrt{10.70^2 - (2^2 * 2^2)}} = 0.32$$

$$L_p = (0.05 + 4) * \frac{0.32}{1} = 4.37$$

$$h_x = \sqrt{2 * \frac{0.32}{1} (4.37 - 2 - (2 * 0.8)) + 0.82} = 1.06$$

$$\gamma = \frac{2}{1 + 2 * 2} = 0.40$$

Figura 35. **Diseño de bordo cálculo realizado en la sección 1+100**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 5.2.2. Aspectos importantes para el diseño de bordos

Los aspectos que se recomiendan son los siguientes:

- Evitar filtraciones al nivel de desplante. Se debe construir un dentellón de ser necesario.
- Evitar la erosión interna de los materiales del bordo. Para ello no se debe usar materiales limosos en el cuerpo del bordo ni arcillas.
- Evitar asentamientos excesivos que conduzcan a pérdida de bordo libre, por lo que no se debe desplantar sobre suelos muy compresibles o suelos colapsables.
- Evitar el agrietamiento. Para ello no se debe usar materiales arcillosos plásticos en el cuerpo del terraplén.
- Evitar falla por cortante de taludes. Estos no deben ser contruidos con materiales saturados.
- Evitar falla por cortante de la cimentación en suelos blandos. Se recomienda taludes con menor pendiente.
- Evitar la erosión al pie de talud. Se recomienda colocar una protección de enroscamiento, bloques o tablestacado.
- Evitar fallas por cortante de taludes. Para ello se debe dar poca pendiente

a los taludes y no se deben construir con materiales finos saturados. Se puede incorporar un drenaje en la sección transversal para evitar los efectos del vaciado rápido.

### **5.2.3. Conservación de bordos**

Debe preverse la construcción de algunos caminos de acceso a los bordos para proporcionar una inspección y mantenimiento. Las rampas de acceso deben ser laterales y no en ángulo recto, porque así son más económicas y la sección transversal del bordo no se modifica. Un bordo debe ser revisado frecuentemente y darle mantenimiento para que siga cumpliendo con los fines para los que fue construido. Dentro del programa de conservación se deben considerar, entre otras medidas, las siguientes:

- Nivelación periódica de la corona de los bordos, ello permitirá detectar oportunamente cualquier asentamiento que sufran los terraplenes y efectuar su revelación antes de que ocurra la siguiente temporada de lluvias.
- Revisar ambos taludes para observar y determinar las zonas de erosión en el lado húmedo, daños en la coraza de protección si la hubiera, cavidades formadas por roedores, estado de las berma y erosiones provocadas por la lluvia en sus taludes. Esta inspección debe hacerse a pie y nunca desde un vehículo.
- Remoción de arbustos que crezcan en sus taludes y árboles que se desarrollen cerca del pie de los taludes.
- Detectar y reparar las erosiones que produzca el agua de lluvia al escurrir sobre la corona y los taludes.



## CONCLUSIONES

1. Con base en la simulación de inundaciones del río Chinautla, realizada con el programa HEC-RAS, se localizaron las áreas de mayor inundación de la aldea Santa Cruz, las cuales se ubican en la planicie aguas abajo de la cuenca. Estas son áreas muy susceptibles y vulnerables, cercanas a la escuela Rural Mixta de Chinautla.
2. La propuesta de bordas de protección se basó en los parámetros tomados mediante un estudio hidráulico. Fue necesario trabajo de campo para obtener la información topográfica del lugar y, con base en las secciones, realizar la simulación de inundaciones.
3. Con base en los datos obtenidos con el programa HEC-RAS, se propone el diseño de la borda en ambos márgenes del río Chinautla, el cual tiene una longitud de 170 m, una altura de 2,60 m y una protección de roca de 0,75 cm de ancho. Este diseño se propone de la estación 1+1000 a la 1+170, la cual es el área mayor afectada por las inundaciones. Existe una segunda área afectada por las inundaciones, que es en la estación 0+945, en este lugar se encuentra un puente peatonal que ha sido dañado por las últimas tormentas tropicales y lo ha dejado en muy malas condiciones, por lo que es conveniente evaluar un diseño adecuado contemplando los caudales máximos.
4. El río Chinautla, a pesar de tener un caudal bajo en temporadas de verano, padece el crecimiento de su caudal en invierno, es decir las fuertes lluvias de las tormentas aumentan considerablemente el nivel del

río, causando el colapso de puentes y pérdidas materiales de los pobladores, por lo que es necesario atender este fenómeno siguiendo lo establecido en este proyecto.

5. El río Chinautla es un río de aguas negras, por lo que con la propuesta de las bordas, indirectamente se disminuye el contacto directo de los pobladores con el agua contaminada, evitando así la proliferación de enfermedades que puedan poner en riesgo a los pobladores.



## RECOMENDACIONES

1. Construir las bordas de protección con las especificaciones técnicas descritas en el inciso 5,2, realizando ensayos en los materiales y manteniendo una constante supervisión de la construcción, ya que las obras se comportan como se construyen, no como se diseñan.
2. Los fenómenos hidrometeorológicos pueden causar, paralelamente con las inundaciones, derrumbes y deslaves, por lo que se recomienda a los pobladores que estén cerca de la ribera del río o cerca de áreas de alta vulnerabilidad de deslizamiento, que tomen las recomendaciones de Conred para evitar posibles pérdidas humanas y materiales.
3. Es necesario ampliar y mejorar la red de estaciones meteorológicas existente en el país para tener la capacidad de detectar la formación, desarrollo, desplazamiento y disipación de los fenómenos hidrometeorológicos en forma oportuna y objetiva.
4. Elaborar programas de ordenamiento territorial para evitar que la población de la aldea Santa Cruz, Chinautla, se establezca en las riberas del río Chinautla, para de esta manera evitar el riesgo por las crecidas del río.
5. Dar continuidad a la planificación y diseño de los proyectos de este tipo para regiones que tienen alta probabilidad de inundaciones.

6. Realizar inspecciones trimestrales de la obra, para verificar que la borda se mantenga en perfecto estado y, de no ser así, hacer las reparaciones correspondientes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALBERTO ACTIS, Raúl. *Diques, cálculo, diseño, construcción y operación*. Bolivia: 2 a ed. 1998. 118 p.
2. AUVINET, Gabriel. *Diseño de bordos de protección*. Instituto de Ingeniería UNAM. México: 1 a. ed. 2011. 88 p.
3. CHARDON, Anne Catherine. *Indicadores para la gestión de riesgo*. Colombia: 1 a. ed. 2003. 27 p.
4. CHEREQUE MORÁN, Wendor. *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Perú: 2 a. ed. 1995. 236 p.
5. Comisión Nacional del Agua. *Manual para el control de inundaciones*. México: 3 a ed. 2011. 338 p.
6. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. *Política nacional para la reducción de riesgo a los desastres en Guatemala*. Guatemala: 1 a ed. 2011. 66 p.
7. \_\_\_\_\_. *Programa nacional de prevención y mitigación ante desastres*. Guatemala: 1 a ed 2009. 57 p.
8. FATTORELLI, Sergio; FERNÁNDEZ, Pedro. *Diseño hidrológico*. Italia: 2 a ed. 2011. 531 p.

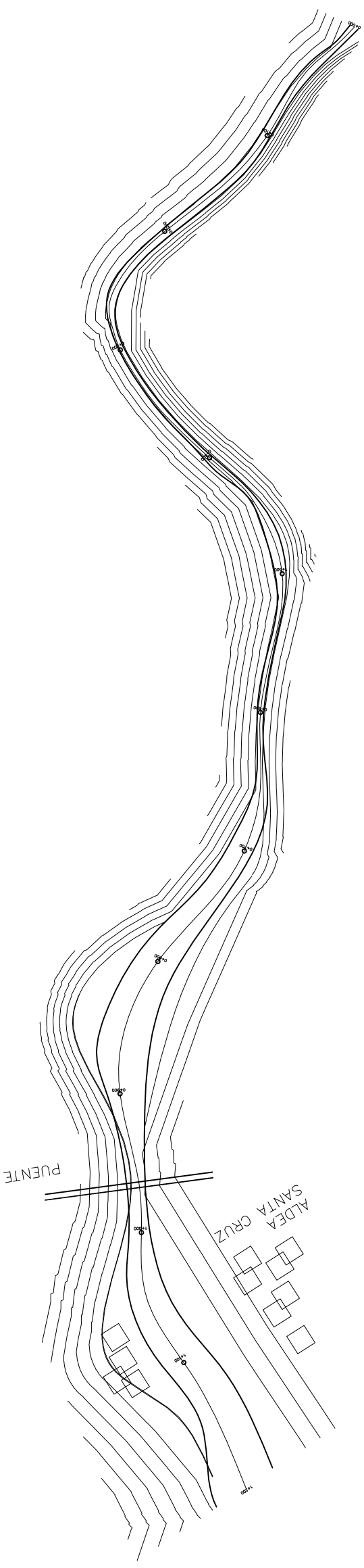
9. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. Guatemala: 1 a ed. 2011. 52 p.
10. PORTILLO MARTÍNEZ, Armando Carlos. *Presas de tierra y bordos*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Escuela superior de ingeniería y arquitectura. México: 2003. 161 p.
11. TUCCU, Carlos. *Gestión de inundaciones urbanas*. México: 1 a ed. 2006. 317 p.
12. Universidad Rafael Landívar. *Amenazas al ambiente y vulnerabilidad social en Guatemala*. Guatemala: 1 a. ed. 2005. 34 p.
13. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. Perú: 1 a ed., 2002. 429 p.

## APÉNDICES

Apéndice 1. **Plano planta-perfil del tramo de estudio de la estación 0+000 a 1+1200.**

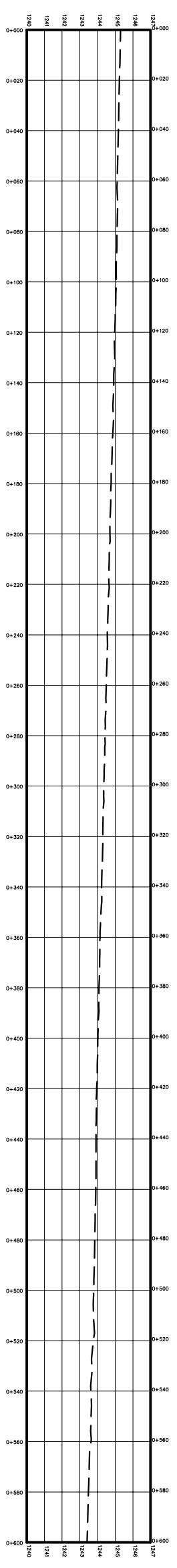
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.





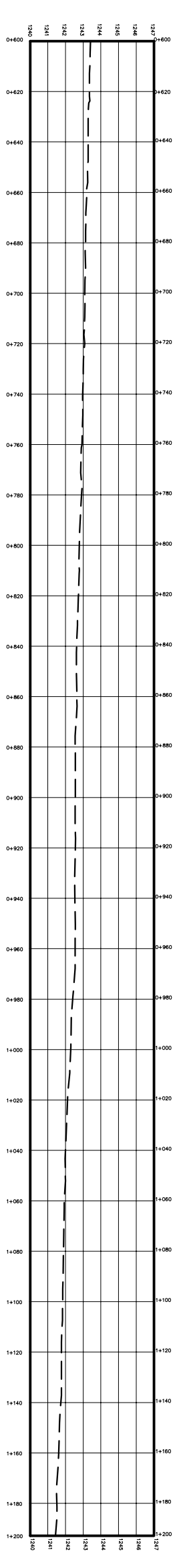
**PLANTA DE RIO CHINAUTLA DE LA ESTACIÓN 0+000 A 1+200**

ESC. 1:2500



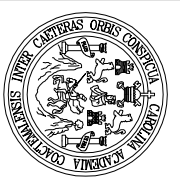
**PERFIL DE LA ESTACIÓN 0+000 A 0+600**

ESC. 1:2000



**PERFIL DE LA ESTACIÓN 0+600 A 1+200**

ESC. 1:2000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

CONTENIDO:  
 PLANTA-PERFIL DEL TRAMO DE ESTUDIO EST 0+000 A 1+1200

UBICACIÓN:

RÍO CHINAUTLA  
 SANTA CRUZ, CHINAUTLA

HOJA N.º

1 / 4

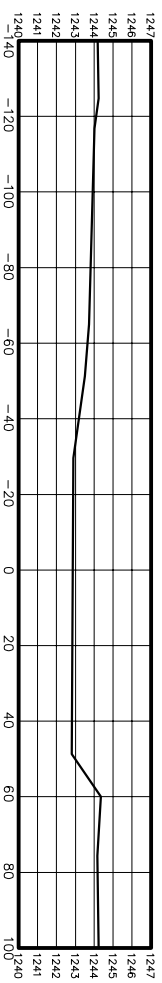
Apéndice 2. **Secciones transversales del río Chinautla del tramo de estudio de la estación 0+000 a 0+700.**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

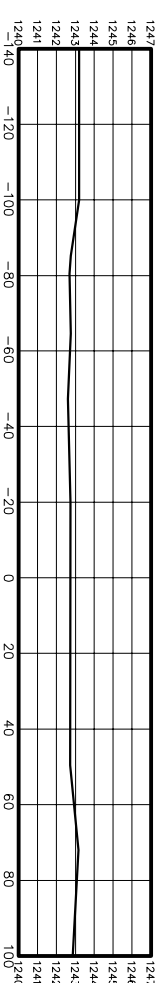




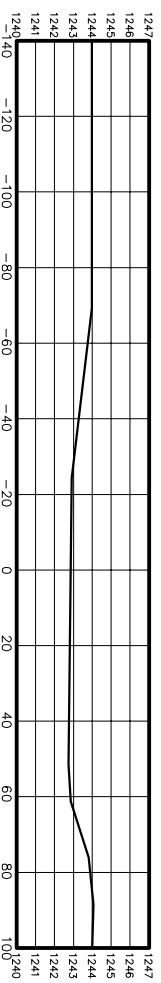
0+000



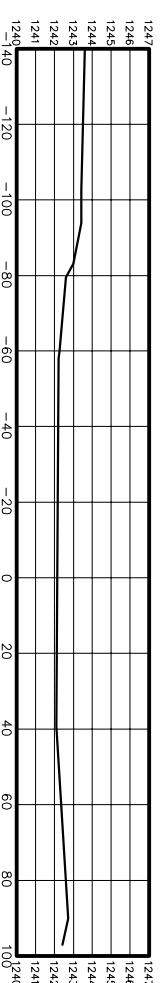
0+400



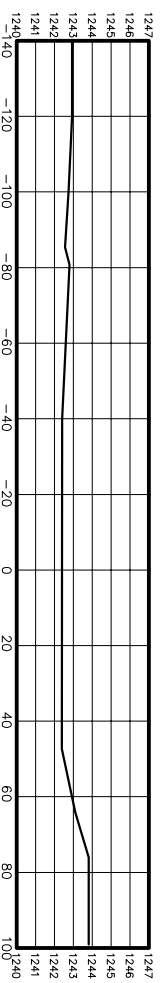
0+100



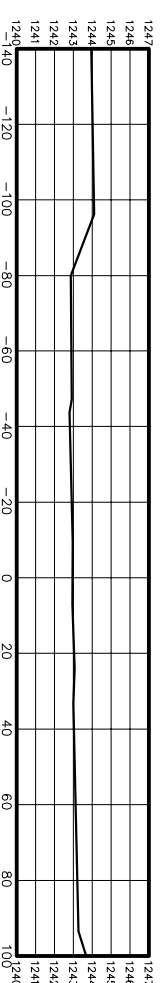
0+500



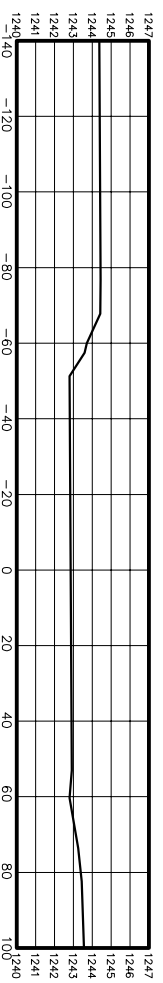
0+200



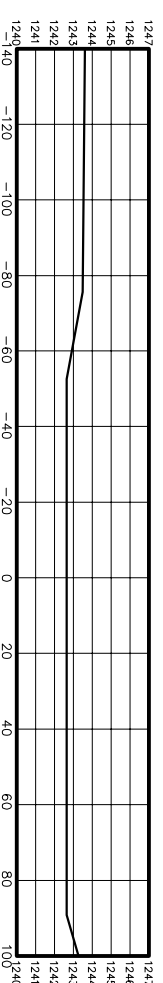
0+600



0+300

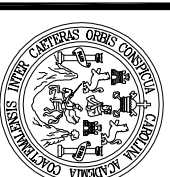


0+700



# SECCIONES TRANSVERSALES DE LA EST 0+000 A 0+700

ESC. 1:1000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

CONTENIDO:  
 SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO DE ESTUDIO EST 0+000 A 0+700

UBICACION:

RÍO CHINAUTLA  
 SANTA CRUZ, CHINAUTLA

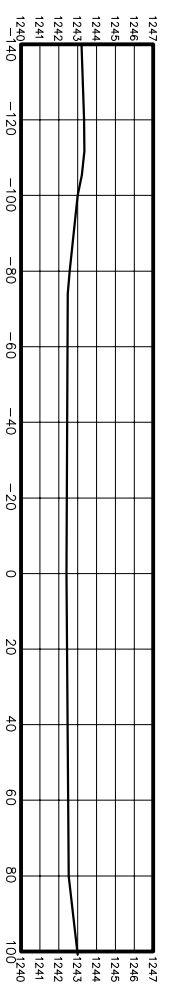
HOJA N°.	ARQ	EST	INS
----------	-----	-----	-----

2/4

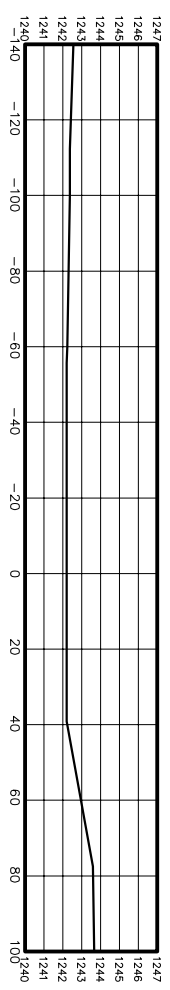
Apéndice 3. **Secciones transversales del río Chinautla del tramo de estudio de la estación 0+700 a 1+1200.**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

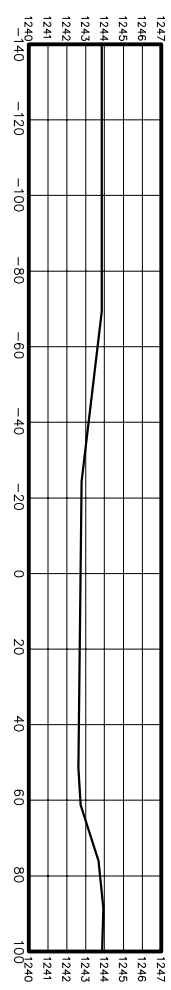




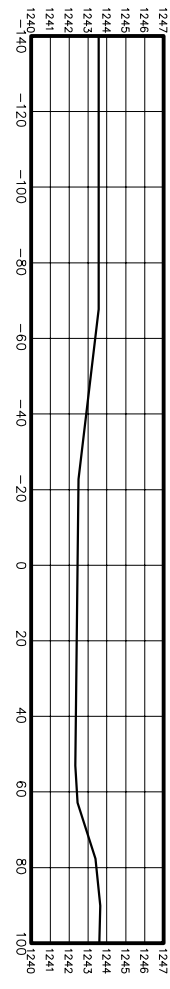
0+800



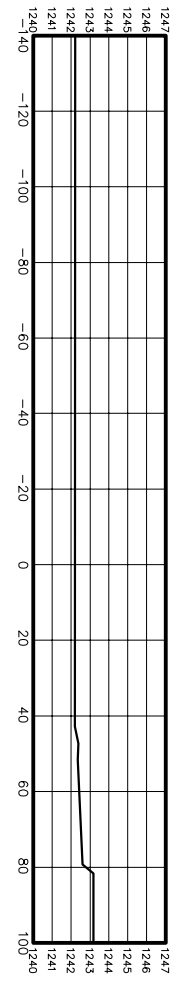
0+900



1+000



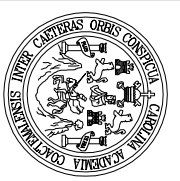
1+100



1+200

# SECCIONES TRANSVERSALES DE LA EST. 0+800 A 1+200

ESC. 1:1000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

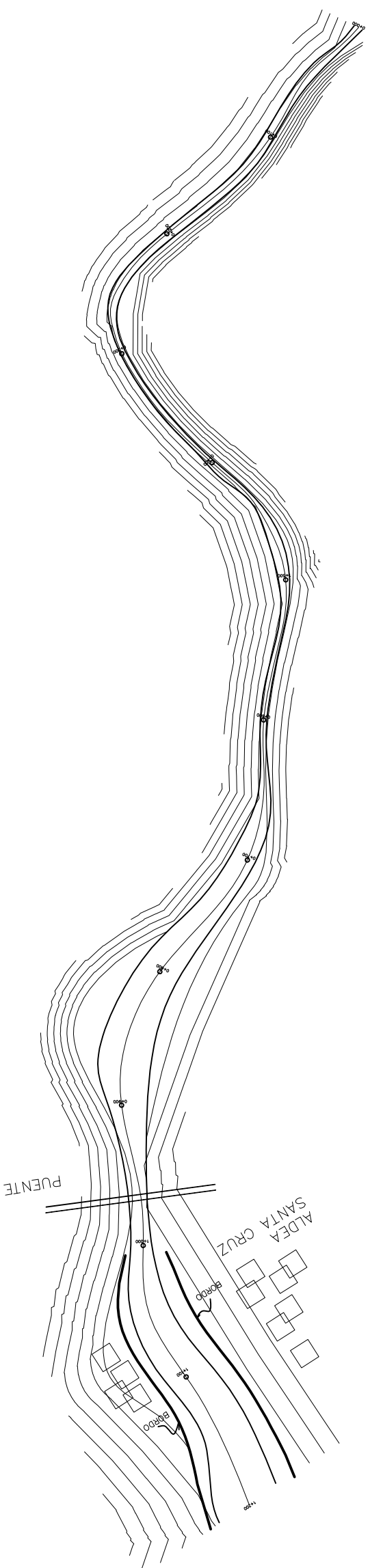
CONTENIDO:  
 SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO DE ESTUDIO EST 0+800 A 1+1200

UBICACION:  
 RÍO CHINAUTLA  
 SANTA CRUZ, CHINAUTLA

Apéndice 4. **Ubicación de bordos del tramo de estudio de la estación  
0+000 a 1+1200.**

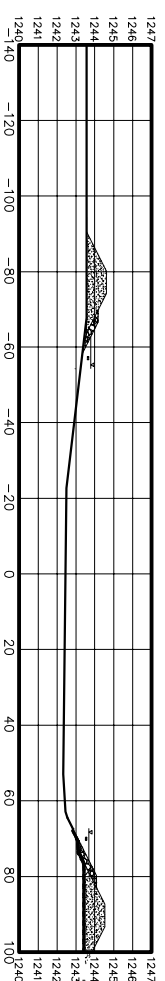
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.



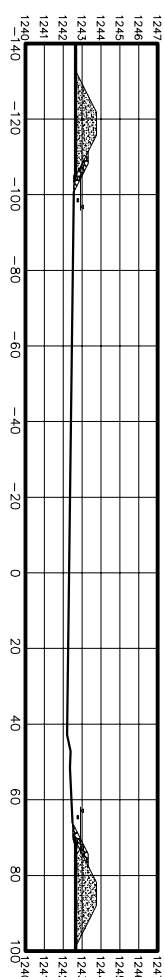


**PLANTA DE RIO CHINAUTLA DE LA EST. 0+000 A 1+200**

ESC. 1:2500



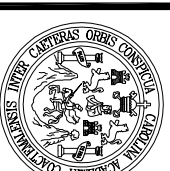
1+100



1+200

**SECCIONES TRANSVERSALES DE LA EST. 1+100 A 1+200 CON BORDOS**

ESC. 1:1000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

CONTENIDO:

UBICACION DE BORDOS DEL TRAMO DE ESTUDIO EST 1+000 A 1+1200

UBICACION:

RÍO CHINAUTLA  
 SANTA CRUZ, CHINAUTLA

HOJA N.º

4/4