



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

**REGIONALIZACIÓN DE CRECIDAS PARA LA VERTIENTE  
DEL CARIBE DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**Emanuel Ovidio Soto González**

Asesorado por el Ing. Sergio Antonio López Dubón

Guatemala, agosto de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REGIONALIZACIÓN DE CRECIDAS PARA LA VERTIENTE  
DEL CARIBE DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EMANUEL OVIDIO SOTO GONZÁLEZ**

ASESORADO POR EL ING. SERGIO ANTONIO LÓPEZ DUBÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2016

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 Cristian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raul Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Fredy Adolfo Alvarado Hernández
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
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:

### **REGIONALIZACIÓN DE CRECIDAS PARA LA VERTIENTE DEL CARIBE DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 28 de abril de 2014.

**Emanuel Ovidio Soto González**

Guatemala, 16 enero de 2015

Ing. Pedro Aguilar Polanco  
Jefe de Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ingeniero Aguilar:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor del trabajo de graduación del estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil, EMANUEL OVIDIO SOTO GONZÁLEZ, procedí a revisar el informe final, cuyo título es "REGIONALIZACIÓN DE CRECIDAS PARA LA VERTIENTE DEL CARIBE DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA". Por tal virtud, LO DOY POR APROBADO, solicitándole darle el trámite respectivo.



Sergio Antonio López Dubón  
Ingeniero Civil  
Col. No. 9914

Ing. Sergio Antonio López Dubón

Asesor



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
5 de marzo de 2015

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

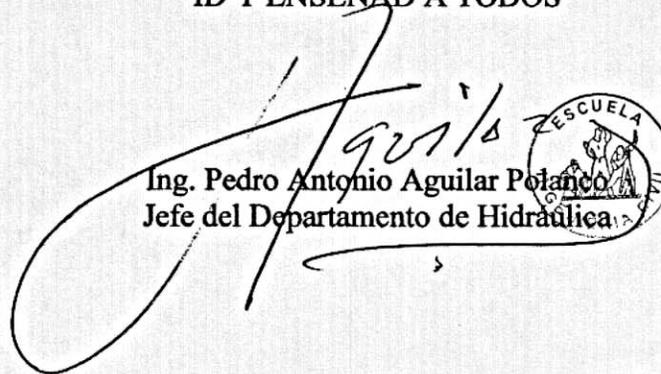
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **REGIONALIZACIÓN DE CRECIDAS PARA LA VERTIENTE DEL CARIBE DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Emanuel Ovidio Soto González, quien contó con la asesoría del Ing. Sergio Antonio López Dubón.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





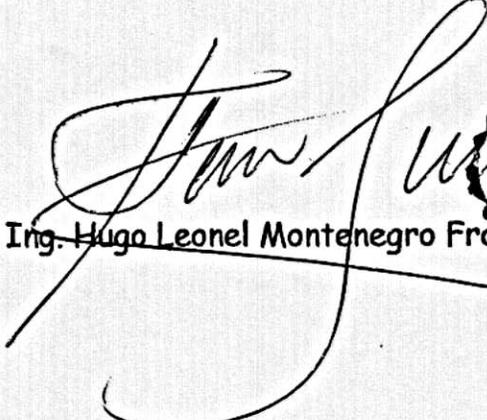
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Antonio López Dubón y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Emanuel Ovidio Soto González, titulado **REGIONALIZACIÓN DE CRECIDAS PARA LA VERTIENTE DEL CARIBE DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2016  
/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref.DTG.D.363.2016

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: **REGIONALIZACIÓN DE CRECIDAS PARA LA VERTIENTE DEL GARIBÉ DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Emanuel Ovidio Soto González**, 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, agosto de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser perfecto, porque lo que soy y lo que tengo se lo debo a Él.
<b>Iglesia católica</b>	Por enseñarme cuán grande es mi Dios.
<b>Santa Biblia</b>	Por ser sabiduría de Dios.
<b>Pueblo de Guatemala</b>	Sufrido, a quien debo la educación superior y merece ser recompensado.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis padres</b>	Ovidio Soto y Reyna González, por ser un gran ejemplo, porque con un trabajo humilde hemos salido adelante.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser grande entre las grandes, forjadora de hombres de bien.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser mi casa de estudios.
<b>Mi esposa</b>	Arely Iboy, por su apoyo incondicional.
<b>Mis hijas</b>	Allyn y Andrea, por ser mi mayor inspiración.
<b>Mi familia</b>	Por su apoyo en todo momento.
<b>Mi tío</b>	Ramiro Soto, por su apoyo incondicional, su comprensión total y amistad.
<b>Amigos</b>	Por compartir este tiempo juntos, por su amistad y apoyo.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1.1. Hidrología en Guatemala.....	1
1.2. Cuenca .....	3
1.2.1. Importancia del estudio de una cuenca hidrográfica.....	3
1.3. División hidrológica de Guatemala .....	4
1.3.1. Vertiente del Pacífico.....	5
1.3.2. Vertiente del Atlántico o del mar Caribe .....	6
1.3.3. Vertiente del Golfo de México.....	6
2. ESTUDIO DE CRECIDAS .....	9
2.1. Estudio de crecidas .....	9
2.2. Crecidas históricas .....	10
2.3. Particularidades y tipos de crecidas .....	11
2.3.1. Crecida periódica.....	11
2.3.2. Crecidas excepcionales.....	11

3.	ANÁLISIS REGIONAL .....	13
3.1.	Caudal índice .....	14
3.2.	Análisis de frecuencia en la regionalización de caudales.....	16
3.2.1.	Análisis de frecuencia de gastos máximos anuales.....	17
3.3.	Envolvente regional.....	21
4.	ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS .....	23
4.1.	Antecedentes de análisis regional de crecidas para la República de Guatemala.....	23
4.1.1.	Región I: Altiplano Occidental .....	24
4.1.2.	Región II: Pacífico Suroccidental.....	24
4.1.3.	Región III: Pacífico Suroriental .....	25
4.1.4.	Región IV: Altiplano Oriental .....	25
4.1.5.	Región V: Motagua.....	26
4.1.6.	Región VI: Polochic–Cahabón y Bajo Motagua .....	26
4.1.7.	Región VII: Planicie del Petén.....	26
4.1.8.	Región VIII: Noroccidental.....	27
5.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS REGIONAL .....	29
5.1.	Análisis por medio del método de los trazos multidimensionales.....	29
5.1.1.	Determinando las regiones homogéneas .....	29
5.2.	Método de las estaciones-año .....	33
5.2.1.	Caudales modulares .....	34
5.3.	Modelos matemáticos .....	74
5.3.1.	Error promedio determinado a base de caudales generados por modelo matemático .....	77

6. DISCUSIÓN .....	111
CONCLUSIONES .....	113
RECOMENDACIONES.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	117
ANEXOS.....	119



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de cuencas hidrográficas de Guatemala .....	8
2.	Regiones hidrológicas de la República de Guatemala .....	28
3.	Análisis para período de retorno de 2 años .....	31
4.	Análisis para período de retorno de 10 años .....	32
5.	Análisis para período de retorno de 25 años .....	32
6.	Análisis para período de retorno de 50 años .....	33

### TABLAS

I.	Cuencas de la vertiente del Pacífico .....	7
II.	Cuencas de la vertiente del Caribe .....	7
III.	Cuencas de la vertiente del Golfo de México .....	8
IV.	Propiedades morfométricas .....	18
V.	Crecidas para valores de período de retorno .....	30
VI.	Caudales modulares .....	34
VII.	Caudales modulares por región .....	35
VIII.	Parámetros estadísticos .....	37
IX.	Coefficientes regionales de ajuste para análisis de máximos .....	38
X.	Error promedio cuenca Camotán .....	42
XI.	Error promedio cuenca Petapilla .....	44
XII.	Error promedio cuenca Morales .....	47
XIII.	Error promedio cuenca Puente Orellana .....	50
XIV.	Error promedio cuenca Chiché .....	52

XV.	Error promedio cuenca Panajax .....	55
XVI.	Error promedio cuenca Telemán.....	58
XVII.	Error promedio cuenca Chilascó .....	60
XVIII.	Error promedio cuenca Matucuy.....	63
XIX.	Error promedio cuenca Cahaboncito .....	66
XX.	Error promedio cuenca San Pedro Cárdenas.....	68
XXI.	Error promedio cuenca Modesto Méndez.....	71
XXII.	Error promedio por región.....	74
XXIII.	Propiedades morfométricas.....	74
XXIV.	Caudales medios <i>versus</i> caudales determinados por modelos matemáticos .....	76
XXV.	Error promedio cuenca Camotán.....	77
XXVI.	Error promedio cuenca Petapilla .....	80
XXVII.	Error promedio cuenca Morales .....	82
XXVIII.	Error promedio cuenca Puente Orellana .....	85
XXIX.	Error promedio cuenca Chiché .....	88
XXX.	Error promedio cuenca Panajax .....	90
XXXI.	Error promedio cuenca Telemán.....	93
XXXII.	Error promedio cuenca Chilascó .....	96
XXXIII.	Error promedio cuenca Matucuy.....	98
XXXIV.	Error promedio cuenca Cahaboncito. ....	101
XXXV.	Error promedio cuenca San Pedro Cárdenas.....	104
XXXVI.	Error promedio cuenca Modesto Méndez.....	106
XXXVII.	Error por medio de modelos matemáticos .....	109
XXXVIII.	Error por medio de análisis regional .....	109

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$Z^2$	Constante relacionada con el nivel de confianza
$\sigma^2$	Desviación estándar
<b>Hab</b>	Habitantes
<b>NSA</b>	La distribución estadística no se ajusta a la cuenca
$\Delta^2$	Límites aceptables del error muestral
<b>L</b>	Litros
<b>l/h/d</b>	Litros por habitante por día
$m^3$	Metro cúbico
<b>mm</b>	Milímetros
<b>msnm</b>	Metros sobre nivel de mar
$N$	Tamaño de la muestra
<b>N</b>	Tamaño de la población



## **GLOSARIO**

<b>Afluencia</b>	Acción y efecto de una corriente que vierte sus aguas en la de otra, a un lago o a otro cuerpo de agua.
<b>Afluente</b>	Río tributario de otro.
<b>Aforo</b>	Proceso y arte de medir las alturas, áreas, velocidades y caudales en los ríos.
<b>Agua freática</b>	Sinónimo de agua subterránea.
<b>Agua subterránea</b>	Agua del suelo que se encuentra en la zona de saturación y que alimenta pozos, manantiales y escorrentía subterránea.
<b>Agua superficial</b>	Agua sobre la superficie del suelo.
<b>Aguas abajo</b>	Dirección en el sentido de la corriente.
<b>Aguas arriba</b>	Dirección en el sentido contrario de la corriente.

<b>Año hidrológico</b>	División anual que principia en el mes en el que se considera que empieza la época de lluvias o invierno en los diferentes países. En el caso de Guatemala, el año hidrológico inicia el 1 de mayo y finaliza el 30 de abril del año siguiente.
<b>Balance hidrológico</b>	Balance de la entrada, salida y contenido de agua en una unidad hidrológica, por ejemplo: una cuenca de desagüe, un lago, un embalse, un sistema de regadío, una napa freática o una zona determinada del subsuelo.
<b>Brazo de río</b>	Rama divergente de un río, que después se une de nuevo a la corriente principal.
<b>Capa acuífera</b>	Sinónimo de napa freática.
<b>Capacidad de infiltración</b>	Ritmo máximo con que el suelo, bajo condiciones dadas, puede absorber el agua de lluvia o de fusión de nieve.
<b>Cauce</b>	Conducto abierto, creado natural o artificialmente, el cual contiene agua en movimiento periódico o continuamente.

<b>Caudal</b>	Magnitud del flujo de una corriente en un lugar determinado de su curso, o del flujo que mana de una fuente. Se mide por el volumen de agua que en la unidad de tiempo pasa por la sección transversal de la corriente o es vertida por la fuente. En un río el caudal suele expresarse en metros cúbicos por segundo.
<b>Caudal medio</b>	Media aritmética de los caudales de todos los años hidrológicos completos registrados, sean o no consecutivos. Generalmente solo se publican los caudales medios cuando el número de años es igual o mayor de cinco.
<b>Condensación</b>	Proceso por el cual se produce el cambio del estado del agua de vapor a líquido.
<b>Crecida</b>	Flujo relativamente alto de una corriente.
<b>Divisoria de aguas</b>	Límite entre dos cuencas de desagüe.
<b>Estación de aforos</b>	Estación para la medida regular del caudal de una corriente.
<b>Estación hidrológica</b>	En un más amplio sentido esta denominación incluye tanto a las estaciones fluviométricas como a las estaciones limnimétricas, no obstante, generalmente, la denominación hidrológica es sinónima de fluviométrica.

<b>Estación limnimétrica</b>	Utilizada para la determinación de caudales por medio de lecturas periódicas del nivel del agua por medio de una regla graduada.
<b>Gasto</b>	Conocido también como Caudal de una corriente, se define como el volumen de agua que pasa por una sección transversal del cauce por unidad de tiempo y se expresa en $m^3/s$ o $l/s$ .
<b>Hidrología</b>	Ciencia que trata de las características y propiedades del agua sobre el suelo y en su interior, principalmente de la distribución del agua procedente de lluvias recientes o de la fusión de las nieves.
<b>Infiltración</b>	Movimiento del agua desde la superficie hacia el interior del suelo. La infiltración es igual a la precipitación total menos las pérdidas debidas a la interceptación por la vegetación, a la retención en depresiones, a la evaporación y a la escorrentía superficial.
<b>Isoyetas</b>	Son líneas utilizadas como un método gráfico que unen varios puntos en un plano cartográfico y presentan la misma precipitación en una unidad de tiempo considerada.

<b>Limnógrafo</b>	Instrumento que mide y registra, de forma automática y continua la altura de la superficie de un lago. Generalmente el termino limnógrafo se emplea también para designar a los fluviógrafos.
<b>Limnómetro</b>	Escala que permite efectuar la lectura de la altura de la superficie de un lago. Generalmente este término también se emplea para designar a los fluviómetros.
<b>Mapa pluviométrico</b>	Mapa de isoyetas.
<b>Molinete</b>	Instrumento para medir la velocidad del flujo.
<b>Permeabilidad</b>	Capacidad variante con la que el agua penetra en el suelo bajo la fuerza de la gravedad. Por consiguiente expresa la intensidad de la percolación.
<b>Pluviógrafo</b>	Instrumento que registra gráficamente la cantidad de precipitación en función del tiempo.
<b>Pluviómetro</b>	Instrumento para medir la cantidad de precipitación, de la altura que alcanzaría el agua que cubriese la superficie del suelo si la precipitación pudiera mantenerse sobre ella sin filtrarse ni evaporarse.

<b>Precipitación</b>	Agua atmosférica que cae sobre la superficie del suelo.
<b>Río</b>	Corriente de agua superficial que va a desembocar a otra, a un lago o al mar.
<b>Tributario</b>	Cauce que vierte sus aguas a otro cauce de orden superior.
<b>Volumen de escorrentía</b>	Volumen de agua que afluye a lo largo de la superficie del suelo durante y después de la precipitación.
<b>Zona de inundación</b>	Tierras que bordean un río y que están sujetas a inundaciones con una frecuencia parecida.

## RESUMEN

Actualmente, la red hidrométrica de Guatemala es limitada y los sitios donde se requiere conocer las magnitudes de crecidas normalmente no coinciden con la ubicación de estaciones hidrométricas que proporcionan dicha información; es por ello que, la regionalización ofrece una herramienta para estimar caudales de crecida. En este trabajo se realiza una regionalización hidrológica, con base en el comportamiento de la ocurrencia de caudales máximos instantáneos observados en diferentes estaciones de la vertiente del Caribe, y la ubicación de las cuencas tributarias. Este agrupamiento se hace para ganar mayor información que pueda dar una mejor base en la interpolación y extrapolación del régimen de crecidas, tanto temporal como espacial.

Para cada región se obtiene una relación para obtener el caudal índice con base en parámetros morfométricos de la cuenca tributaria. En seguida se obtienen curvas regionales de frecuencia para cada región. Aunque ya existe en la actualidad un estudio por parte del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), acerca de regionalización de crecidas elaborado en el 2002, sin embargo, los recientes fenómenos extremos como los huracanes Stan y Agatha, entre otros, hacen necesaria la actualización del mismo. La aplicación de metodologías hidrológicas para el estudio de cuencas y regiones es de suma importancia para conocer en una mejor forma la respuesta de las mismas a eventos que comprenden el ciclo del agua: la lluvia y la escorrentía. Todo este estudio es una aproximación para la estimación de crecidas, que puede tener incertidumbres, pero definirá, en una mejor manera, los resultados que no expresan información precisa que se desea obtener.



# OBJETIVOS

## General

Establecer un modelo de regionalización de crecidas para la vertiente del mar Caribe.

## Específicos

1. Determinar los parámetros morfométricos principales que permitan generar un modelo de regionalización de crecidas para la vertiente del Caribe.
2. Estimar los valores de crecidas en diferentes estaciones de la vertiente del mar Caribe con distintas distribuciones estadísticas.
3. Identificar posibles regiones de comportamiento homogéneo ante crecidas.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala actualmente, se realiza un análisis regional de crecidas, este estudio se hace tomando en cuenta las vertientes más importantes de la República.

Las crecidas consisten en incrementos de elevación de los niveles, o caudales normales de un río, que pueden causar inundaciones o poner en riesgo elementos de un sistema socioeconómico. Una crecida puede originarse a partir de eventos de lluvias de altas intensidades o duraciones. También pueden ocurrir como producto de la operación y control de infraestructura dentro del cauce, tal como embalses. El rompimiento de una presa de almacenamiento puede dar origen a crecidas repentinas. Por otro lado, la magnitud de crecidas puede aumentar como producto de actividades humanas, por ejemplo, el cambio del uso del suelo en las cuencas tributarias.

Para este trabajo se toma la vertiente del Caribe que abarca determinadas regiones hidrológicas definidas previamente, utilizando estaciones hidrológicas para el análisis. Para cada región se establecen relaciones entre la crecida y los parámetros morfométricos de la cuenca, para luego hacer un análisis de frecuencia regional. Se utilizan métodos ponderados probabilísticamente. Finalmente al ajustar las distribuciones se obtienen las curvas de frecuencias regionales envolventes, que estiman los caudales máximos asociados a los periodos de retornos.



# **1. INFORMACIÓN GENERAL**

## **1.1. Hidrología en Guatemala**

Desde siempre el agua ha jugado un papel muy importante en el moldeado de la corteza terrestre, siendo su principal exponente el océano, el cual abarca más del noventa por ciento del agua existente en el planeta, además, en los continentes se han generado distintos tipos de cuerpo de agua, tales como: ríos, lagos, lagunas, entre otros, los cuales han contribuido en el moldeado de las formas terrestres.

A través de la historia se observa un creciente interés en el estudio de los recursos hídricos, principalmente para aprovecharlos en distintas actividades de las que realiza el ser humano, por ejemplo: abastecimiento de agua potable, riego, generación de energía, entre otro, de esta cuenta, se conocen muchos casos donde las grandes ciudades se fundaron cercanas a los cuerpos de agua (ríos, lagos).

Conforme el hombre ha ocupado las áreas aledañas a los ríos y lagos, la importancia del estudio de estos recursos se ha incrementado, principalmente al observar la facilidad con que las mismas pueden agotarse y contaminarse, además de la amenaza por inundaciones y crecidas que ellas pueden significar, tanto para las poblaciones como para zonas de aprovechamiento aledañas, principalmente durante las épocas de lluvias.

En el caso de Guatemala, la investigación y control permanente en los diferentes cuerpos de agua, está a cargo principalmente del Instituto Nacional

de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), el cual a través del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, opera estaciones para mantener un monitoreo constante, tanto de los ríos como de algunos de los lagos y lagunas existentes en el territorio nacional. El departamento se encuentra dividido en las secciones de Hidrometeorología del norte o red del Petén, hidrología operativa, aguas subterráneas, hidrología aplicada y procesamiento de datos.

Actualmente, el departamento continúa recopilando en el país la información del recurso agua, evaluando su cantidad y calidad, tanto de lo superficial como de lo subterráneo. De lo primero en ríos y lagos principales y de lo segundo, investigando acuíferos para la explotación y aprovechamiento para agua potable, irrigación e industria. Incluyendo también la parte norte del territorio nacional, en la que, además de medición de caudales superficiales en sus principales ríos y niveles en sus principales lagos, se cuenta con medición de condiciones meteorológicas.

También se cuenta con la elaboración de un pronóstico de mareas y una efeméride solar. Manuales con datos que vienen a ser bastante utilizados por el público y elaborados con programas especiales por personal profesional y técnicos especializados en esta labor. En la parte de hidrología aplicada e investigación se cuenta con estudios de cuencas y aplicación de modelos. Se tiene además, investigación de calidad de agua y boletines anuales de datos hidrológicos, como también estudios de balance hídrico superficial por cuenca hidrográfica.

## **1.2. Cuenca**

Una cuenca es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación pluvial forma un curso principal de agua, hasta que llega al mar, lago u otro río mayor. La cuenca es una unidad hidrográfica, conformada por el conjunto de sistemas de curso de aguas y delimitada por las cumbres, o el relieve que la comprende, siendo sus límites la “divisoria de aguas”. La cuenca es un sistema dinámico con componentes físicos tales como el agua, el aire, el suelo, subsuelo, el clima y los minerales; biológicos como la flora y la fauna.

Todos estos componentes están interrelacionados y en un determinado equilibrio, de manera que al afectar uno de ellos, se produce un desbalance en el sistema que, de acuerdo a la capacidad de carga del mismo, tiende a recuperar nuevamente el balance o a producir una nueva condición pero deteriorada. Además, siendo la cuenca un sistema dinámico, presenta innumerables cambios en el tiempo, en donde los de origen antropogénico reflejan la cultura de la sociedad que la habita. Por lo que, una cuenca hidrográfica es una unidad natural adecuada para la coordinación de procesos de manejo diseñados para asegurar el desarrollo sustentable.

### **1.2.1. Importancia del estudio de una cuenca hidrográfica**

El mundo es un sistema ecológico único en donde el sistema hídrico o ciclo del agua tiene entre sus funciones el mantenimiento del clima global y para ello, la calidad de los subsistemas de cuencas y su cobertura vegetal resultan en una sumatoria vital para mantener estable dicho ciclo. Actualmente, las pocas cuencas en las que no habitan seres humanos, ni están incorporadas a la producción, son reservorios de naturaleza y biodiversidad que debieran estudiarse, manejarse y conservarse, puesto que día a día con su

transformación, se extinguen especies que la humanidad aún no ha conocido y se pone en riesgo a la propia especie humana.

Las relaciones naturales, espaciales y de asentamientos humanos de las cuencas son muy variadas, por lo que cada una resulta en una especificidad. En cada cuenca donde se localizan asentamientos humanos debería evaluarse su capacidad de carga en relación a la densidad demográfica y su reproducción, considerando que una cuenca cuenta con una capacidad finita de recursos físicos y biológicos.

La relación de estos con el volumen de la demanda de las necesidades humanas constituye su capacidad de carga y es expresada como un umbral en el que la base natural y los recursos pueden reciclarse, regenerarse, reproducirse y producirse. Una vez abatida dicha capacidad, el deterioro progresivo es irreversible. Por lo anterior, las cuencas idealmente deben mantenerse en un umbral positivo y la lógica de las sociedades que las habitan debe buscar constantemente el balance hacia márgenes positivos mayores, sin que ello necesariamente implique restricciones en la satisfacción de necesidades económicas, sociales y culturales. También, en términos ideales, cada cuenca debe alcanzar su propia sustentabilidad y no incorporar artificialmente recursos naturales provenientes de otras cuencas.

### **1.3. División hidrológica de Guatemala**

En el departamento de Totonicapán se ubica un pico de la Sierra Madre, denominado por la población local: “cumbre María Tecún”. En ella se originan las tres grandes vertientes de Guatemala. Las vertientes en las cuales se divide la república son: la del Caribe, la del Golfo de México y la del Pacífico, que desembocan, como su nombre lo indica en el Golfo de México, en el mar Caribe

y en el océano Pacífico. Estas tres vertientes se componen de un sistema de cuencas con importancia económica, biológica, social y regional. Así, el río Motagua drena por la vertiente del mar Caribe; los ríos Chixoy, Cuilco y Selegua drenan por la vertiente del Golfo de México y un grupo de 9 ríos drenan por la vertiente del Pacífico dentro de los que destacan, por drenar los valles del altiplano occidental, el Naranjo, Samalá, Nahualate y el Madre Vieja.

Desde el punto de vista hidrológico, el territorio de la república de Guatemala, está dividido en estas tres importantes vertientes de acuerdo al punto donde desembocan finalmente todos los ríos que atraviesan y/o nacen en el territorio nacional. En forma general, los ríos de una misma vertiente son similares, pero cada vertiente tiene condiciones propias que afectan las características de los ríos que están incluidos en ella. Estas vertientes se definen a continuación:

### **1.3.1. Vertiente del Pacífico**

Los ríos que corresponden a la vertiente del Pacífico, tienen longitudes cortas (110 kilómetros promedio) y se originan a una altura media de 3 000 msnm. Las pendientes son fuertes en las partes altas de las cuencas, entre el diez por ciento y el veinte por ciento, cambiando bruscamente a pendientes mínimas en la planicie costera, creando grandes zonas susceptibles a inundación en esta área. Estas condiciones fisiográficas producen crecidas instantáneas de gran magnitud y corta duración así como tiempos de propagación muy cortos.

Por otro lado, todos los ríos de la vertiente del Pacífico acarrear grandes volúmenes de material, especialmente escorias y cenizas volcánicas, debido a que la cadena volcánica se encuentra entre los límites de la vertiente. Por

causa de este arrastre de material los ríos tienen cursos inestables causando daños e inundaciones en la planicie costera. La precipitación en la vertiente del Pacífico tiene períodos de gran intensidad, típica de las zonas costeras con una precipitación media anual de 2 200 mm.

### **1.3.2. Vertiente del Atlántico o del mar Caribe**

En el caso de la vertiente del Atlántico, la longitud de los ríos es mucho mayor e incluye el río más largo del país, el Motagua con 486,55 kilómetros. Las pendientes son más suaves y su desarrollo es menos brusco, ya que en la parte montañosa los ríos hacen su recorrido en grandes barrancas o cañones.

Las crecidas son de mayor duración y los tiempos de propagación son también mayores. Los caudales son más constantes durante todo el año. Parte del área dentro de esta vertiente tiene muy baja pluviosidad, 500 mm/anuales, mientras que en la zona de Puerto Barrios y Morales, la pluviosidad alcanza hasta 3 500 mm/anuales.

### **1.3.3. Vertiente del Golfo de México**

Al igual que los ríos que desembocan en el Atlántico, los que desembocan en el Golfo de México poseen grandes longitudes. Aquí se encuentran los más caudalosos del país, como el Usumacinta, el Chixoy y La Pasión.

Las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estables y los recorridos más sinuosos. Las pendientes son relativamente suaves. La precipitación media es de 2 500 mm/anuales.

**Tabla I. Cuencas de la vertiente del Pacífico**

CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO					
No.	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	No.	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
1.1	Coatán	270	1.10	Coyolate	1,648
1.2	Suchiate	1,054	1.11	Acomé	706
1.3	Naranjo	1,273	1.12	Achiguate	1,291
1.4	Ocosito	2,035	1.13	María Linda	2,727
1.5	Samalá	1,510	1.14	Paso Hondo	512
1.6	Sis – Iacán	919	1.15	Los Esclavos	2,271
1.7	Nahualate	1,941	1.16	Paz	1,732
1.8	Atitlán	541	1.17	Ostúa – Güija	2,243
1.9	Madre Vieja	1,007	1.18	Olopa	310
Área total de la Vertiente del Pacífico (km <sup>2</sup> )					23,990

Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

**Tabla II. Cuencas de la vertiente del Caribe**

CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL CARIBE					
No.	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	No.	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
2.1	Grande de Zacapa	2,462	2.6	Sarstún	2,109
2.2	Motagua	12,670	2.7	Mopán – Belice	8,159
2.3	Izabal – Río Dulce	3,435	2.8	Hondo	6,100
2.4	Polochic	2,811	2.18	Moho	305
2.5	Cahabón	2,459	2.19	Temans	102
Área total de la Vertiente del Caribe (km <sup>2</sup> )					40,612

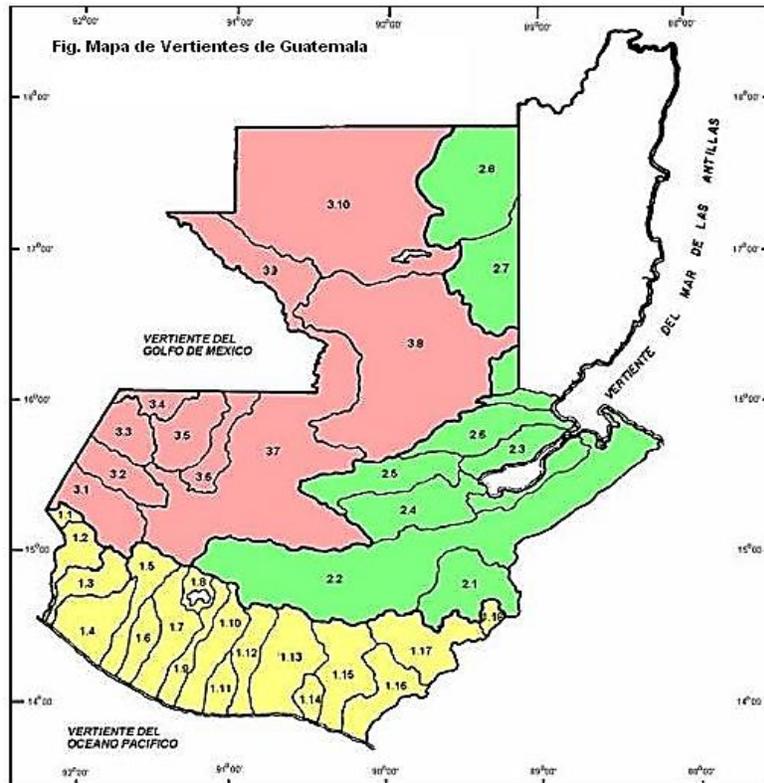
Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

Tabla III. **Cuencas de la vertiente del Golfo de México**

CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL GOLFO DE MÉXICO					
No.	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	No.	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
3.1	Cuilco	2,274	3.6	Xacibal	1,366
3.2	Selegua	1,535	3.7	Chixoy	12,150
3.3	Nentón	1,451	3.8	La Pasión	12,156
3.4	Pojom	813	3.9	Usumacinta	2,638
3.5	Ixcán	2,085	3.10	San Pedro	14,335
Área total de la Vertiente del Golfo de México (km <sup>2</sup> )					50,803

Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

Figura 1. **Mapa de cuencas hidrográficas de Guatemala**



Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

## **2. ESTUDIO DE CRECIDAS**

### **2.1. Estudio de crecidas**

Es un tema muy sensible en la actualidad y de mucho interés para las organizaciones que se dedican a la prestación de servicios que se relacionan con los recursos hídricos. Se ha considerado que es de mucha importancia la evaluación de las crecidas, con el propósito de que los datos de estas no se pierdan y puedan ser utilizadas en el futuro.

Una crecida es un aumento del caudal del agua, significativamente mayor que el flujo medio de este. Durante la crecida, el caudal de un curso aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces, el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura de inundación manual. Los caudales máximos de crecidas están condicionados por el aporte de las lluvias en el tiempo. Además de la magnitud de las lluvias, las crecidas están influidas por la topografía del terreno, teniendo influencia, no solo en el caudal sino también en el tiempo de concentración.

Lluvias muy intensas provocan crecidas en pequeñas cuencas, en tanto que en cuencas grandes se necesitan lluvias de menor intensidad pero de mayor duración y cubrimiento grande. Las inundaciones provocadas por las crecidas son causantes de daños materiales y en muchos casos pérdidas de vidas humanas. La República de Guatemala no está exenta del peligro que representan las inundaciones para las personas y cosas materiales. Mediante un estudio de avenidas es posible reducir los impactos causados por éstas, ya que puede ser útil en una primera aproximación en la elaboración de mapas de

riesgo a inundaciones y en la elaboración de planes de prevención y preparación a desastres de esta índole. Asimismo los resultados de un estudio regional de avenidas máximas pueden ser de gran utilidad en el diseño de obras como presas, puentes para carreteras y estructuras para el control de avenidas, entre otros.

## **2.2. Crecidas históricas**

La información histórica de crecidas no es consistente, y por lo tanto, no es suficiente para desarrollar estudios de crecidas confiables. Se requiere de una revisión de las estimaciones de las crecidas que se han observado en las estaciones del país y su estadística. Se encontró que existe una tendencia a la sobre estimación de las crecidas. Esto se debe, con toda certeza, a la falta de ajuste de los aforos cuando el arrastre del molinete por el flujo es importante. Ocurre especialmente en los aforos que se realizan durante crecidas. Otra fuente de error es la extrapolación de las curvas de calibración, sin observar los elementos que afectan el flujo a niveles donde no existen aforos.

Una vez revisada la estadística de las series de crecidas, deben desarrollarse estudios de frecuencia y ajustar las curvas propuestas de acuerdo a estos resultados. Una vez establecidas las curvas envolventes de crecidas y las regiones para las que estas son válidas, esta información será de gran utilidad para el diseño de las obras de protección contra crecidas de proyectos de recursos hídricos o relacionados con estos.

### **2.3. Particularidades y tipos de crecidas**

Una crecida elemental solo afecta a uno o a varios afluentes y pueden tener causas muy diferentes, entre estas: *pluvial*, debido a las lluvias continuas sobre una cuenca poco permeable o que ya se ha empapado de agua; *nival*, provocada por la fusión de las nieves, el deshielo que provoca la ruptura del obstáculo congelado que retenía las aguas. Muchas veces dos o más de estas causas simples suman sus efectos y el río, sobre todo después de haber recibido las aguas de varios afluentes, experimenta una crecida compleja. Por otra parte, las avenidas se pueden caracterizar por su variabilidad en el tiempo, así se pueden distinguir:

#### **2.3.1. Crecida periódica**

Generalmente no causa daños, incluso es benéfica, por ejemplo, las crecidas que contribuyen a la fertilidad de los valles aguas abajo. Este tipo de avenidas es de larga duración, pudiendo durar semanas o meses. Son causadas, principalmente, por las variaciones climáticas de regiones muy extensas de la cuenca hidrográfica. Son previsibles, pudiéndose tomar medidas de protección para evitar o minimizar los daños.

#### **2.3.2. Crecidas excepcionales**

Estas son causadas por precipitaciones intensas sobre toda la cuenca o parte de la misma. Son difícilmente previsibles, para ello se requiere una red de monitoreo operada en el tiempo real. Generalmente causan daños a las poblaciones y a la infraestructura. Se pueden tomar medidas de protección civil y de mantenimiento preventivo de las infraestructuras.



### **3. ANÁLISIS REGIONAL**

Para cuencas con muy pocos datos, el análisis histórico tiene muy poco valor para el estudio de frecuencias. En la región centroamericana este caso se presenta muy a menudo puesto que muchas de las estaciones cuentan con registros muy cortos, que no llenan los requisitos para hacer un análisis de frecuencia que proporcione resultados aceptables. La estimación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno es uno de los principales procedimientos en hidrología, que tiene como fin la determinación del caudal de diseño para una determinada estructura hidráulica o para el trazado de mapas de inundación.

La metodología más común para la determinación de estos caudales máximos, es la metodología estadística, la cual ajusta los datos registrados en una estación hidrométrica (crecidas máximas instantáneas) a una función de distribución de frecuencia y determina los valores para diferentes períodos de retorno. La disponibilidad de datos es un aspecto importante en el análisis de frecuencia. La estimación de la probabilidad de ocurrencia de eventos extraordinarios es una extrapolación basada en datos limitados. Así, cuanto mayor sea la base de datos, más precisas las estimaciones serán.

Desde el punto de vista estadístico, estimaciones a partir de pequeñas muestras pueden dar estimaciones poco realistas de parámetros, en especial para las distribuciones con un gran número de parámetros. Grandes variaciones asociadas con tamaños de muestra pequeños causan que las estimaciones no sean realistas. En la práctica, sin embargo, los datos pueden ser limitados o en

algunos casos no se tienen disponibles para un sitio. En tales casos, el análisis regional es más útil.

Este se basa en el concepto de homogeneidad regional que asume que el flujo anual de poblaciones máximas en varios sitios en una región es similar en características estadísticas y no dependen del tamaño de captación. Aunque esta hipótesis puede no ser estrictamente válida.

La regionalización tiene dos propósitos: para los sitios donde no se cuenta con disponibilidad de datos, el análisis se basa en datos regionales. Para sitios con datos disponibles, el uso conjunto de estos medidos en un sitio, llamada datos en el sitio, y los regionales, de un número de estaciones en una región, proporciona información suficiente que permite determinar una distribución de probabilidad para ser utilizado con mayor fiabilidad. Este tipo de análisis representa una sustitución del espacio por el tiempo en que los datos de diferentes lugares de una región se utilizan para compensar los registros cortos en un solo sitio. Muchos tipos de regionalización de los procedimientos están disponibles.

### **3.1. Caudal índice**

Uno de los procedimientos más simples, que se ha utilizado durante mucho tiempo, es el método de caudal índice. La suposición clave en el índice de las inundaciones es que la distribución de las inundaciones en diferentes lugares de una región es el mismo, a excepción de una escala o parámetro de inundación índice, que refleja precipitaciones y los tipos de escorrentía de cada región.

El caudal proporciona la crecida media, aunque cualquier parámetro de localización de la frecuencia puede ser utilizado. En este caso, estimaciones regionales de cuántiles ( $QTr$ ), en un lugar determinado, durante un período de retorno dado ( $Tr$ ), se puede obtener aplicando la ecuación que sigue, donde  $QTr$  es la estimación de cuántiles de la distribución regional para el período de retorno dado, y  $QI$  es el caudal índice llamado también: caudal medio máximo (QMM),  $KTr$  es el valor adimensional obtenido en la curva de frecuencia:

$$Qtr = QI * Ktr$$

Otro método de la obtención de los parámetros de la distribución regional es la estación de año enfoque (Cunnane, 1989 citado por Ramachandra y Hamed, 2000) en el que todos los datos se ponen en común, después de dividirlos por la media en cada sitio, y son tratados como una sola muestra. El uso conjunto de estos *insitu* y los datos regionales es aconsejable, siempre que una región de inundación, razonablemente homogénea, pueda ser identificada. Los datos en un sitio pueden ser utilizados cuando el registro en una estación es excepcionalmente largo, o cuando los datos regionales no están disponibles, o cuando una región es heterogénea.

El análisis regional de métodos de análisis de frecuencia se basa en el supuesto de que la variable estandarizada  $KTr = \frac{QTr}{QI}$  en cada estación (i) tenga la misma distribución en todos los sitios en la región en estudio. En particular  $Cv$  (Coeficiente de variación) y  $Cs$  (Coeficiente de asimetría), se consideran constantes en toda la región. Los sitios con  $Cv$  y  $Cs$  más cercanos a la media regional no pueden sufrir de sesgo, pero grandes sesgos en sus estimaciones de cuántiles se espera para los sitios cuyos  $Cv$  y  $Cs$  se desvían de la media.

Un método de asignación de regiones homogéneas es la geográfica, basada en la similitud en cuanto a los tipos de suelo, clima y topografía. Sin embargo, geográficamente no pueden ser similares desde el punto de vista de frecuencia de las inundaciones. Por otra parte, dos sitios en diferentes regiones pueden llegar a ser similares en cuanto a la frecuencia de inundaciones, a pesar del hecho de que todas son geográficamente diferentes. Otro enfoque, es inicialmente dividir el grupo entero de las cuencas en dos o más grupos en función de una o más características de la cuenca, tomando en consideración el tamaño de la cuenca, precipitación u otras características.

### **3.2. Análisis de frecuencia en la regionalización de caudales**

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionadas.

Cuando se pretende realizar extrapolaciones para períodos de retorno mayores que la longitud de la serie disponible, el error relativo, asociado a la distribución de probabilidades utilizada, es más importante, mientras que en interpolaciones la incertidumbre está asociada, principalmente a la calidad de los datos a modelar; en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponible. La extrapolación de frecuencias extremas en una distribución empírica de crecientes es extremadamente riesgosa.

El análisis de frecuencias puede ser gráfico o matemático. En el enfoque gráfico, las observaciones históricas de la variable de interés se ordenan, en orden ascendente o descendente, y se traza un gráfico de las magnitudes de los eventos en función de su frecuencia de excedencia o intervalo de repetición. Después, se ajusta una curva a través de los puntos representados gráficamente para describir la probabilidad de ocurrencia futura de cualquier evento. Se dispone de un papel especial para gráficos, que puede usarse para ilustrar la curva suave como una línea recta.

El enfoque matemático para el análisis de frecuencias se basa en la suposición de una descripción matemática específica, conocida como distribución de probabilidades, para definir el equivalente de la curva del enfoque gráfico. Los parámetros de la distribución de probabilidades se definen como funciones de las estadísticas de las observaciones hidrológicas.

### **3.2.1. Análisis de frecuencia de gastos máximos anuales**

El análisis máximo de frecuencias de los gastos máximos anuales, se emplea para prever la magnitud de un evento  $QT$ , de cierto periodo de retorno  $T$ , por medio del ajuste de una distribución de probabilidad, la cual es seleccionada como la mejor entre un grupo de ellas.

La secuencia del análisis es la siguiente:

Información:

Tabla IV. **Propiedades morfométricas**

Tabla de Resumen							
No.	Propiedades morfométricas de cuencas - vertiente del Caribe				dem	dem	
0	Estacion / cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud (km)	H min	H max	Diferencia de H
1	CHICHÉ	197.6693	93.914	30.0642	1854	3357	1503
2	CONCUÁ II	2488.8231	323.484	104.4223	608	3357	2749
3	PANAJAX	1510.0325	251.0982	81.6469	410	2672	2262
4	PUENTE ORELLANA	5733.4356	533.5984	186.9563	263	3357	3094
5	VADO HONDO	303.558	96.9429	35.5567	421	1957	1536
6	PETAPILLA	1189.5379	230.0214	71.4507	173	1957	1784
7	CAMOTÁN	705.3881	174.2854	70.0448	397	1855	1458
8	GUALÁN	11304.9347	909.6336	281.4987	108	3357	3249
9	MORALES	12863.1856	1079.9469	380.8218	29	3357	3328
10	CHILASCÓ	57.4545	39.7755	14.3148	1826	2653	827
11	MATUCUY	830.3006	180.6566	62.9533	68	2974	2906
12	TELEMÁN	1498.3057	241.7156	83.5201	21	2974	2953
13	SANTA CRUZ	125.555	75.5934	31.4421	1385	2389	1004
14	CAHABONCITO	2446.4845	469.8663	176.6521	0	2643	2643
15	SAN PEDRO CÁRDENAS	83.3656	80.9467	25.7942	0	541	541
16	MODESTO MÉNDEZ	1527.7645	371.2336	111.4968	-2	1346	1348

Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

Verificar la homogeneidad de la serie:

Delimitación de regiones homogéneas

En general, la delimitación regional se ha sustentado en considerar áreas geográficamente continuas, límites políticos o administrativos. Sin embargo, si la variabilidad espacial de las características fisiográficas o hidrológicas es grande, la consideración de homogeneidad no se puede garantizar.

A las técnicas que ubican estaciones en forma iterativa, con base en un algoritmo puramente matemático, se les denomina técnicas de racimo. Con esta metodología no es necesario que una cuenca se encuentre dentro de un grupo

que sea geográficamente contiguo. Estas regiones, podría decirse, serán comunes respecto a sus series de datos en un espacio variable, multidimensional, antes que en el espacio geográfico. Sin embargo, existen numerosos problemas asociados a la regionalización y en particular al análisis de grupos. El primer problema común en las técnicas de regionalización, es el relacionado con la selección de las variables para evaluar el grado de similitud entre las diferentes cuencas.

Algunas cuencas son similares con respecto a cierta variable, como la cubierta forestal o la lluvia anual, pero no a otras, como las características fisiográficas. Además, con el análisis por racimos, literalmente cualquier conjunto de variables es capaz de generar grupos. Lo cual es muy útil, ya que de esta manera se podrán seleccionar las variables de acuerdo con la importancia del problema.

Si dichas variables son medidas a partir de longitudes de registros grandes, esto contribuirá a obtener una mayor similitud de aquellas características que se obtienen a partir de registros cortos. Otro problema en el análisis por racimos, es la variedad de los diferentes algoritmos que pueden emplearse para formar grupos. Lamentablemente, las diferentes técnicas de agrupación aplicadas a un mismo registro, a menudo producen estructuras que son sustancialmente diferentes.

Puede pensarse que la selección de la región es un problema trivial, sin embargo, la inclusión o exclusión de información dentro del modelo regional puede producir estimadores  $Q_t$  poco confiables. A continuación se presenta el método de los trazos multidimensionales que pueden emplearse para la identificación de regiones homogéneas. Cabe mencionar que esta técnica,

manejada adecuadamente puede ser complementaria y definir de manera más confiable la región.

- Método de los trazos multidimensionales

Nathan y McMahon desarrollaron una técnica de regionalización que resuelve los problemas asociados con la selección de una adecuada técnica de racimos, la definición de la región homogénea y la predicción del grupo de membresía al cual pertenecería una nueva cuenca.

El método emplea la técnica de regresión lineal múltiple para seleccionar las características fisiográficas y meteorológicas más adecuadas. La heterogeneidad de los grupos que se forman de manera preliminar se evalúa mediante una técnica de posicionamiento, en la cual un punto en el espacio multidimensional se representa por una curva en dos dimensiones via la función:

$$f(t) = \frac{X_1}{\sqrt{2}} + X_2 \sin(t) + X_3 \cos(t) + X_4 \sin(2t) + X_5 \cos(2t)$$

Donde  $X_1$  y  $X_2$ , son las características fisiográficas y meteorológicas obtenidas del análisis y la función se evalúa en el rango  $-\pi \leq t \leq \pi$ .

El hecho de que esta función preserva las distancias la hace una técnica ideal de comparación visual para la formación de grupos homogéneos, los racimos de cuencas con comportamientos similares aparecen como una banda de curvas muy próximas unas de otras. Una característica del método, que no se identifica en forma inmediata, consiste en que los resultados que se obtienen dependen del tipo y del ordenamiento de las variables seleccionadas. Las

primeras variables son asociadas con componentes cíclicas de baja frecuencia y las últimas de alta frecuencia. Las bajas frecuencias son más fáciles de observar, de esta manera,  $X_1$  representa a aquella que en el análisis de regresión resultó más significativa desde el punto de vista estadístico,  $X_2$  a la segunda y así sucesivamente.

Una vez que se han desarrollado las funciones del tipo  $f(t)$  para cada uno de los sitios involucrados, se generarán envolventes que formen conjuntos de curvas de comportamientos similar y se derivará una curva media  $f(t)$  que represente los atributos físicos de cada grupo formado. Para el análisis de este método se utiliza la distribución normal que es la que mejor se ajusta, valuando las probabilidades a los 2, 10, 25 y 50 años como periodos de retorno.

### **3.3. Envolverte regional**

El comportamiento general de los gastos máximos anuales en una región se puede apreciar en una gráfica que relaciona esta variable con la correspondiente área de drenaje de la cuenca. La curva suave que cubre a todos los puntos de esa gráfica se conoce como envolvente de gastos máximos.

Citando el mismo autor dice que la envolvente no está asociada con frecuencias o probabilidades específicas de ocurrencia, pero dentro de la región de aplicación, proporciona evidencia de las magnitudes máximas de los gastos esperados.

La envolvente permite realizar estimados gruesos de los eventos extraordinarios esperados en una determinada región, en función solamente de la superficie de la cuenca. En general, este estimado no es totalmente válido

para el diseño definitivo de grandes obras hidráulicas, pero puede ser útil en estudios de gran visión, en el análisis del potencial de escurrimiento o en la estimación de eventos en zonas donde se carece de información hidrométrica.

Para una región la curva envolvente puede ajustarse a diferentes ecuaciones, una de ellas y la más utilizada es la propuesta por Creager, que se detalla a continuación:

$$Q = 1.303 * C_c * \left( \frac{A}{2.59} \right)^{0.936 * A^{-0.048}}$$

Donde:

$Q$ : caudal máximo –  $m^3/s$

$C_c$ : coeficiente empírico de Creager

$A$ : área de la cuenca –  $Km^2$

Creager encontró que  $C_c = 100$  para la envolvente de los datos con los que trabajó, a la cual se le conoce como envolvente mundial. El coeficiente  $C_c$  es característico de cada región y para el caso de Guatemala se usa un  $C_c$  de 50 y para el resto de Centro América de 65.

## **4. ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS**

### **4.1. Antecedentes de análisis regional de crecidas para la República de Guatemala**

Para el análisis regional que se llevó a cabo en el 2002, el país se dividió en ocho zonas, identificándolas del I a la VIII, agrupándolas en cuencas, por ser esta la unidad de análisis, asimismo se consideraron otros factores como la precipitación anual y vertiente de desembocadura, así como también la existencia de información histórica de caudales.

Para cada región se establecen relaciones entre la crecida índice y el área de la cuenca tributaria. Luego para cada región se hace un análisis de frecuencia regional con las series estandarizadas, con base en la crecida índice. Se ajustan siete distribuciones teóricas de frecuencia, cuyos parámetros se estiman mediante el método de momentos convencionales y el de momentos lineales ponderados probabilísticamente.

Con base en la evaluación de la bondad de ajuste se seleccionan las distribuciones que mejor se ajustan a los datos, en cada región. Se puede observar que no existe una distribución que se ajuste mejor a las ocho regiones. Se estima, que las que mejor se ajustan a la mayoría de regiones es la Log-Normal y la de Gumbel. Además, se tienen curvas de frecuencia regionales envolventes. Finalmente se obtienen curvas envolventes a las crecidas históricas observadas en el país.

Las regiones hidrológicas de la República de Guatemala se describen a continuación:

#### **4.1.1. Región I: Altiplano Occidental**

Esta pertenece a la vertiente del Pacífico y las cuencas pertenecientes a esta región son:

- Coatán
- Suchiate
- Naranjo
- Ocosito
- Samalá
- Sis-Iscán
- Nahualate
- Atitlán
- Madre Vieja
- Coyolate
- Acomé
- Achiguate

La región I comparte sus cuencas (a excepción de la cuenca Coatán) con la región II.

#### **4.1.2. Región II: Pacífico Suroccidental**

Esta pertenece a la vertiente del Pacífico y comparte todas sus cuencas con la región I. Las cuencas que forman esta región son:

- Suchiate
- Naranjo
- Ocosito
- Samalá
- Sis-Iscán
- Nahualate
- Atitlán
- Madre Vieja
- Coyolate
- Acomé
- Achiguate

#### **4.1.3. Región III: Pacífico Suroriental**

Región perteneciente a la vertiente del Pacífico, formada por las cuencas:

- María Linda
- Paso Hondo
- Los Esclavos
- Paz

#### **4.1.4. Región IV: Altiplano Oriental**

Esta región es la que posee menor área de la vertiente del Pacífico y está formada simplemente por dos cuencas, las cuales son:

- Ostúa-Güija
- Olopa

#### **4.1.5. Región V: Motagua**

Pertenece a la vertiente del Caribe y está formada por las cuencas:

- Grande de Zacapa
- Motagua

#### **4.1.6. Región VI: Polochic–Cahabón y Bajo Motagua**

Pertenece a la vertiente del Caribe, la cual está formada por las cuencas:

- Río Dulce
- Polochic
- Cahabón
- Sarstún
- Vertiente Belice

#### **4.1.7. Región VII: Planicie del Petén**

Pertenece a la vertiente del Golfo de México, la cual está formada por las cuencas:

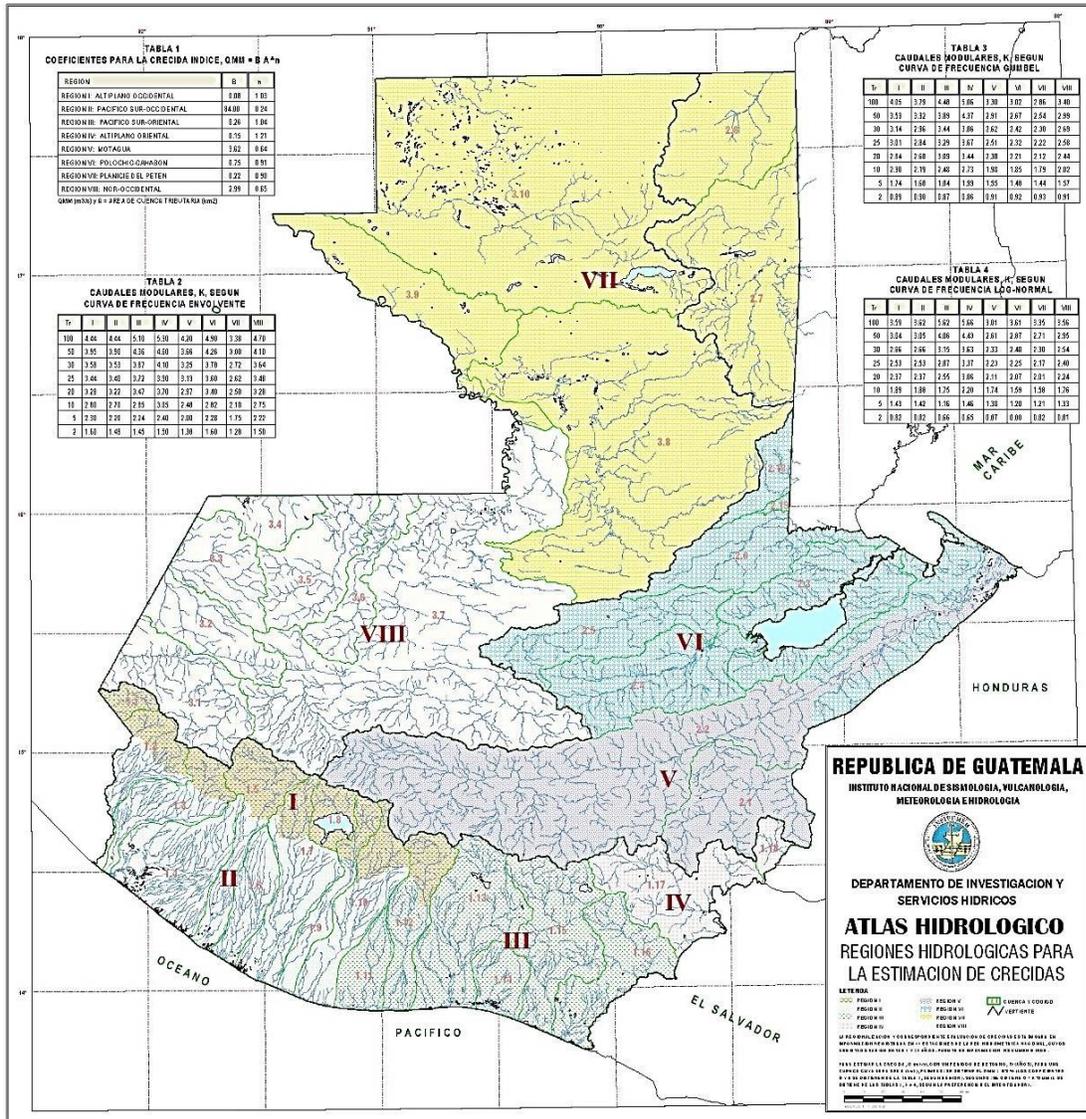
- La Pasión
- Usumacinta
- San Pedro

#### **4.1.8. Región VIII: Noroccidental**

Pertenece a la vertiente del Golfo de México, la cual está formada por las siguientes cuencas:

- Cuilco
- Selegua
- Nentón
- Pojom
- Ixcán
- Xaclbal
- Chixoy

Figura 2. Regiones hidrológicas de la República de Guatemala



Fuente: Insivumeh. www.Insivumeh.gob.gt. Consulta: julio de 2014.

## 5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS REGIONAL

### 5.1. Análisis por medio del método de los trazos multidimensionales

Dado que es una técnica de regresión lineal múltiple que selecciona las propiedades morfométricas más adecuadas, la hace una técnica ideal de comparación visual en la formación de regiones homogéneas.

#### 5.1.1. Determinando las regiones homogéneas

Evaluando la ecuación:

$$f(t) = \frac{x_1}{\sqrt{2}} + x_2 \sin(t) + x_3 \cos(t) + x_4 \sin(2t) + x_5 \cos(2t)$$

Donde:

$x_1$ : crecida máxima probable para cierto periodo de retorno de la cuenca bajo análisis.

$x_2$ : área de la cuenca bajo análisis.

$x_3$ : perímetro de la cuenca bajo análisis.

$x_4$ : diferencia de altura entre el punto más alto y el punto más bajo de la cuenca bajo análisis.

$x_5$ : longitud del flujo más largo de la cuenca bajo análisis.

$t$ : intervalo de análisis entre  $-\pi \leq t \leq \pi$ .

Evaluando para un período de retorno de 2, 10, 25 y 50 años (aplicando la distribución normal):

**Tabla V. Crecidas para valores de período de retorno**

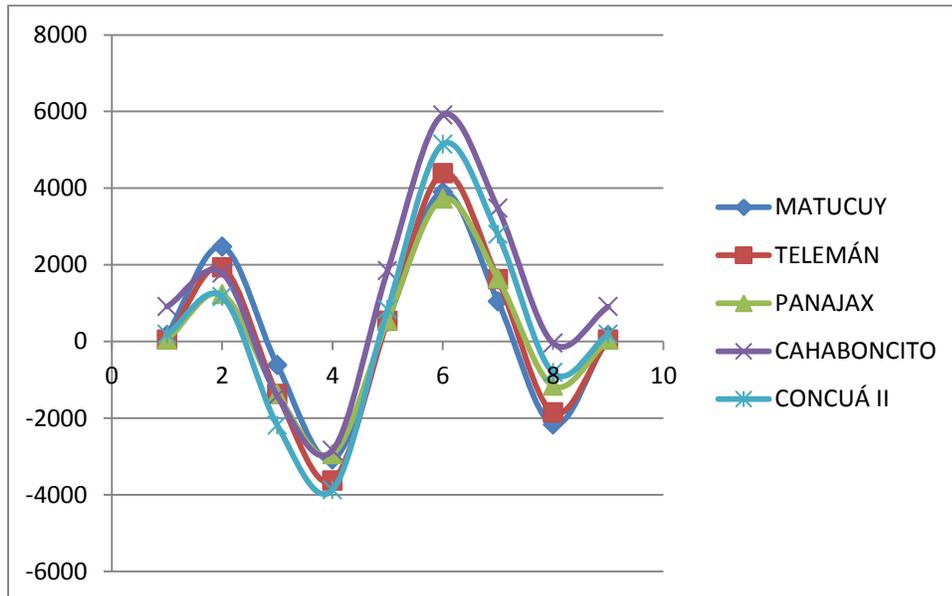
Probabilidad	Periodo de retorno	CAMOTÁN	CONCUA II	PETAPILLA	MORALES	PUENTE ORELLANA
0.50	2	437.94	577.55	352.53	1167.99	1098.90
0.80	5	579.10	589.23	467.97	1452.28	1473.42
0.90	10	652.90	615.78	528.31	1600.88	1669.19
0.93	15	689.72	658.29	558.42	1675.03	1766.89
0.95	20	713.83	710.43	578.14	1723.59	1830.86
0.96	25	731.59	763.89	592.66	1759.34	1877.96
0.97	30	745.55	802.34	604.07	1787.45	1914.99
0.98	50	782.42	826.47	634.23	1861.71	2012.82
0.99	75	809.70	898.49	656.53	1916.64	2085.18
0.99	100	828.14	945.96	671.62	1953.79	2134.13
0.998	500.00	920.70	1034.77	747.31	2140.18	2379.68

CHICHÉ	PANAJAX	TELEMÁN	CHILASCÓ	MATUCUY	CAHABONCITO	SAN PEDRO	MODESTO MÉNDEZ
28.56	305.85	295.16	13.48	397.45	1701.97	32.75	347.58
37.09	542.90	433.44	19.32	582.04	2324.83	40.72	466.51
41.54	666.80	505.72	22.37	678.52	2650.41	44.89	528.69
43.77	728.64	541.79	23.89	726.67	2812.88	46.97	559.71
45.22	769.13	565.42	24.88	758.20	2919.27	48.33	580.03
46.29	798.94	582.80	25.62	781.41	2997.60	49.33	594.98
47.14	822.38	596.48	26.19	799.67	3059.19	50.12	606.75
49.36	884.29	632.60	27.72	847.88	3221.88	52.20	637.81
51.01	930.10	659.32	28.84	883.55	3342.23	53.75	660.79
52.12	961.07	677.39	29.61	907.67	3423.62	54.79	676.34
57.71	1116.49	768.05	33.43	1028.69	3832.00	60.02	754.32

Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

Iniciando la evaluación de las cuencas a partir del período de retorno igual a dos años y elaborando gráficas de dispersión con los valores obtenidos se logra observar el comportamiento y se logra determinar visualmente el comportamiento de las zonas homogéneas:

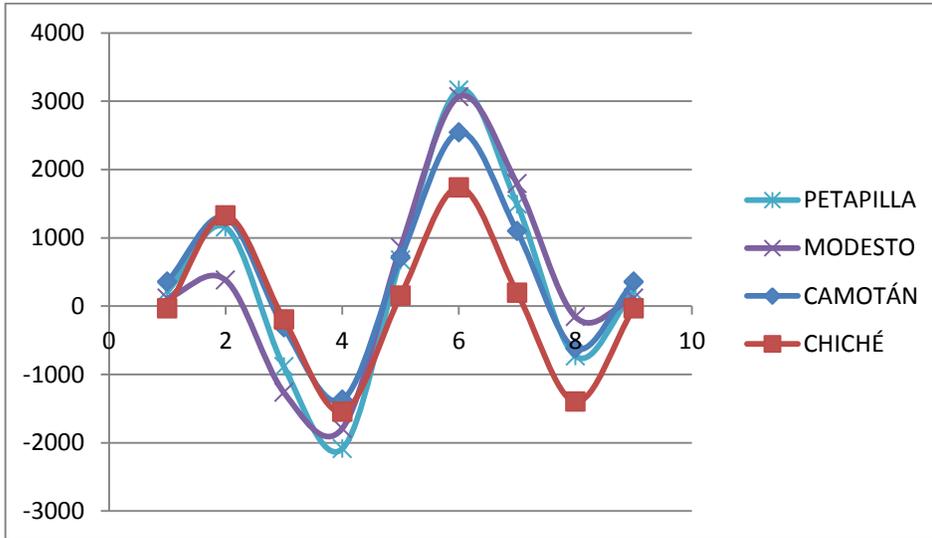
Figura 3. **Análisis para período de retorno de 2 años**



Fuente: elaboración propia.

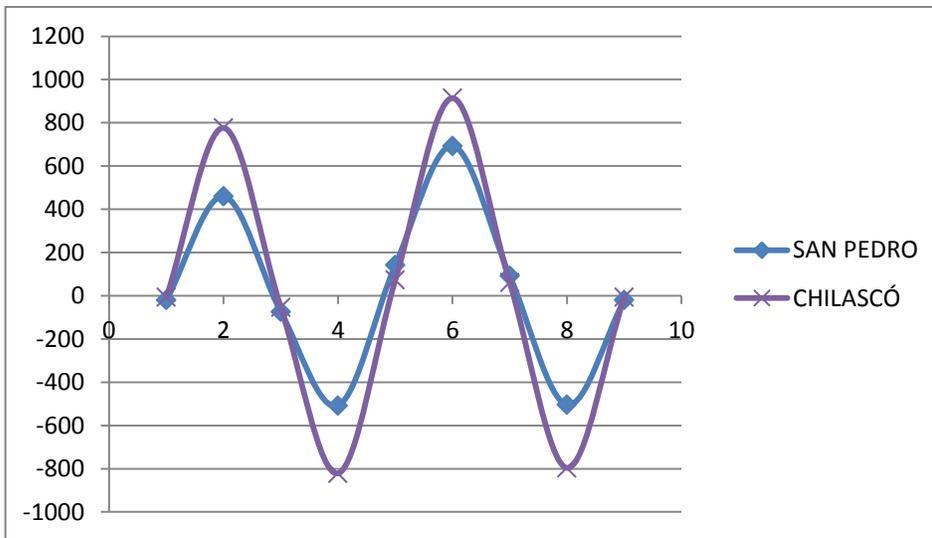
Obteniendo este resultado, ya se tiene un punto de inicio para las posibles zonas homogéneas, aunque, se deberá evaluar para 10, 25 y 50 años de períodos de retorno para poder determinar si la tendencia se mantiene de igual forma que en los primeros puntos evaluados.

Figura 4. **Análisis para período de retorno de 10 años**



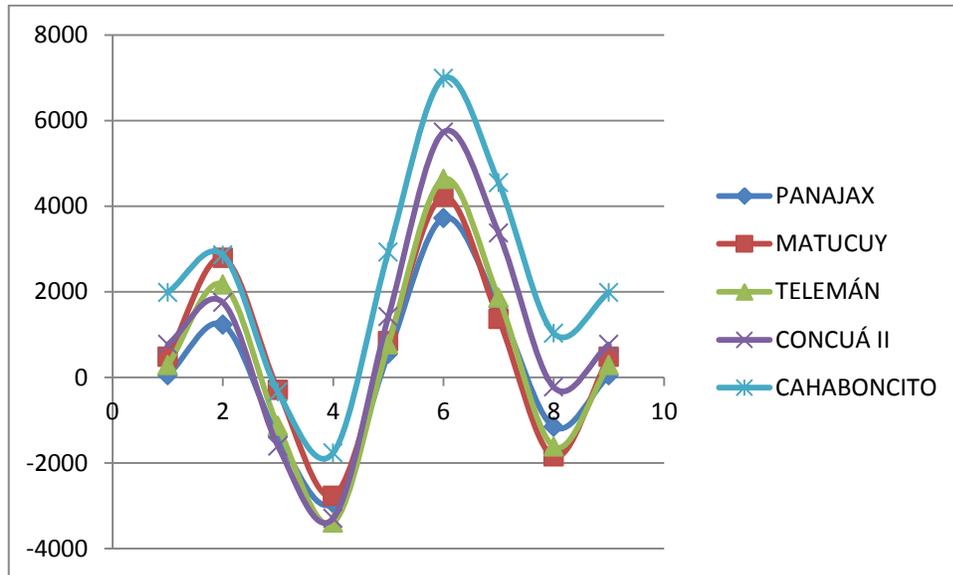
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Análisis para período de retorno de 25 años**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Análisis para período de retorno de 50 años**



Fuente: elaboración propia.

De esta forma se determinan las zonas homogéneas y se nombran en regiones, en este caso aleatoriamente, distinguidas por medio de colores.

## 5.2. Método de las estaciones-año

Considera el tratamiento de una sola muestra de datos conformada por un registro estandarizado de eventos, el cual una vez que se construye se ajusta a un conjunto de distribuciones de probabilidad. Esta técnica regional a diferencia de otras no requiere que las muestras tengan una longitud de registro común. Con referencia al tamaño de muestra aceptable en cada muestra participante en el análisis, se recomienda que al menos sea de 10 años.

## 5.2.1. Caudales modulares

Son el resultado de la división de los caudales pico anuales y los medios.

Tabla VI. Caudales modulares

	CHICHÉ	CONCUÁ II	PANAJAX	PUENTE ORELLANA	PETAPILLA	CAMOTÁN	MORALES	CHILASCÓ	MATUCUY	TELEMÁN	CAHA BONCITO	SAN PEDRO CÁRDENAS	MODESTO MÉNDEZ
ÁREA	208	2524	1503	5803	1227	1413	14453	68	845	643	2626	88	1377
QMM	29	578	306	1099	353	438	1168	13	397	295	1702	33	348
1962													
1963								9					
1964								9					
1965								15					
1966								13					
1967								14			1702		
1968								29		238	1398		
1969				1755		505	1485	16		249	1344		
1970				1457		424	1729	11	335	238	1317	33	
1971			426	1678		501	1065	9	180	265	1366	33	338
1972			231	1239		374	828	8	288	319	1157	45	284
1973	21	205	477	1239		532	1186	13	313	290	3296	23	236
1974	26	143	219	459		275	1470	18	299	274	1529	28	353
1975	17	477	147	1528		330	942	14	224	250	4273	28	341
1976	32	896	222	1373		157	719	2	287	205	762	28	472
1977		1246	58			206	623	8	806	204	2221	41	
1978	14	349		1042		289		20	481	204	1347	53	
1979	44			595		404	1089	25	840		1970	21	
1980	37			516		614	1021		359		1190		373
1981	38	726		694		686	1413				1327		378
1982				1504			1250	6	498		1469	37	632
1983	27		233	738		551	1080	24	620		1181	32	593
1984	25		1004	1429		637	1505	9	327		1239	18	207
1985	31			894		406	924	2	424		1198	36	146
1986					278						2109		
1987					271						2020		
1988					531						959		
1989					274				251		1119		
1990					260				216		1943		
1991					255				358		1625		
1992					614				785		1388		
1993					557				126		2995		
1994					215				171		1026		
1995					263						2099		
1996					282						2040		
1997				371	312				197		2149		
1998	43			1269	471	730	1804		755	805			193
1999			41			261		13					
2000	15						891	15					320
2001								21					
2002													
2003													
SUMA	371	4043	3059	19780	4583	7883	21024	324	9141	3542	52761	458	4866
MEDIA	28.56	577.55	305.85	1098.90	352.53	437.94	1167.99	13.48	397.45	295.16	1701.97	32.75	347.58

Fuente: Insivumeh. www.insivumeh.gob.gt. Consulta: julio de 2014.

Ya calculados los caudales modulares, se procede a ordenarlos por región, en orden ascendente.

Tabla VII. Caudales modulares por región

REGIÓN	V	V	V	V	V	V	V
	CHICHÉ	CONCUÁ II	PANAJAX	PUENTE ORE	PETAPILLA	CAMOTÁN	MORALES
1962	0	0	0	0	0	0	0
1963	0	0	0	0	0	0	0
1964	0	0	0	0	0	0	0
1965	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	0	0	0	0	0	0
1968	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	0	1,597047237	0	1,153154798	1,271308626
1970	0	0	0	1,325867706	0	0,968634686	1,480487902
1971	0	0	1,392831885	1,526595158	0	1,144002776	0,911820272
1972	0	0	0,754081144	1,127791988	0	0,854006064	0,708993772
1973	0,725490196	0,355765339	1,559579364	1,127788348	0	1,214789375	1,015091410
1974	0,921918767	0,248063016	0,716033293	0,417889477	0	0,629018852	1,258200674
1975	0,599089635	0,826051402	0,480821260	1,390149995	0	0,753534763	0,806305972
1976	1,123949579	1,551367785	0,725841968	1,249427838	0	0,358499872	0,615585705
1977	0	2,157370827	0,188980476	0	0	0,470388367	0,533393455
1978	0,504201680	0,604271604	0	0,948218359	0	0,659913777	0
1979	1,546918767	0	0	0,541867662	0	0,922509225	0,932368335
1980	1,310574229	0	0	0,469195188	0	1,402031347	0,874422799
1981	1,341036414	1,257110023	0	0,631538907	0	1,566438931	1,209767179
1982	0	0	0	1,368501132	0	0	1,070399945
1983	0,955182072	0	0,763114934	0,671487838	0	1,257718022	0,924662812
1984	0,878851540	0	3,283944473	1,300387750	0	1,454322092	1,288534751
1985	1,078431372	0	0	0,813538592	0	0,927076102	0,791100405
1986	0	0	0	0	0,789203701	0	0
1987	0	0	0	0	0,767864871	0	0
1988	0	0	0	0	1,507493367	0	0
1989	0	0	0	0	0,778228065	0	0
1990	0	0	0	0	0,737158765	0	0
1991	0	0	0	0	0,722021855	0	0
1992	0	0	0	0	1,740565169	0	0
1993	0	0	0	0	1,578674078	0	0
1994	0	0	0	0	0,610788599	0	0
1995	0	0	0	0	0,747330150	0	0
1996	0	0	0	0	0,799145775	0	0
1997	0	0	0	0,337482016	0,885357656	0	0
1998	1,492647058	0	0	1,155224801	1,336167945	1,667572430	1,544794776
1999	0	0	0,134771197	0	0	0,596388513	0
2000	0,521708683	0	0	0	0	0	0,762761202
2001	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0

Continuación de la tabla VII.

VI	VI	VI	VI	VII	VII
CHILASCÓ	MATUCUY	TELEMÁN	CAHABÓN	SAN PEDRO CÁRDENAS	MODESTO MÉNDEZ
0	0	0	0	0	0
0,637781495	0	0	0	0	0
0,694143581	0	0	0	0	0
1,130949745	0	0	0	0	0
0,949256179	0	0	0	0	0
1,027124850	0	0	1,000291946	0	0
2,186255638	0	0,807044687	0,821176308	0	0
1,202143958	0	0,843194163	0,789654071	0	0
0,824666306	0,842490895	0,806672012	0,774083908	1,0214937194463	0
0,650388804	0,453689587	0,897198161	0,802727133	1,0214937194463	0,971865226985675
0,616274910	0,723482923	1,082011089	0,680081248	1,38245203824615	0,81757423534929
0,941098509	0,788270561	0,983997560	1,936699217	0,711228362508348	0,678986239020419
1,357139694	0,751284997	0,928672260	0,898580586	0,868193316707271	1,01485426250874
1,008584690	0,563589549	0,847293588	2,510879850	0,868193316707271	0,981077574177808
0,169827863	0,722099110	0,695038905	0,447927169	0,868193316707271	1,35797247804084
0,605150814	2,028167569	0,691346034	1,304685709	1,24839053067159	0
1,475796716	1,210207916	0,691346034	0,791715969	1,61362415950799	0
1,824351720	2,114542700	0	1,157323041	0,641610563237359	0
0,904007701	0	0	0,699073054	0	1,0730571930824
0	0	0	0,779403560	0	1,08666568846615
0,407883514	1,253231939	0	0,863393179	1,13173564253153	1,81942418514459
1,794687464	1,560186962	0	0,693790446	0,981794411964079	1,70483087200822
0,633331857	0,822740100	0	0,727764754	0,540582416192477	0,594688371209833
0,144613246	1,065658001	0	0,704001723	1,10101448612606	0,421201633019446
0	0	0	1,239276382	0	0
0	0	0	1,187041596	0	0
0	0	0	0,563467852	0	0
0	0,632307049	0	0,657378413	0	0
0	0,544565351	0	1,141329622	0	0
0	0,901095477	0	0,954760404	0	0
0	1,976296278	0	0,815759946	0	0
0	0,316801957	0	1,759918887	0	0
0	0,431285796	0	0,603043412	0	0
0	0	0	1,233430488	0	0
0	0	0	1,198575606	0	0
0	0,495153675	0	1,262764505	0	0
0	1,898843896	2,726185501	0	0	0,556567321773305
0,995497181	0	0	0	0	0
1,148830423	0	0	0	0	0,921234719213297
1,574220831	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Se determinan los parámetros estadísticos de las regiones para obtener los coeficientes regionales de ajuste para el análisis de máximos:

Tabla VIII. **Parámetros estadísticos**

Parámetro	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
Media	1,00	1,00	1,00
Desviación estándar	0,46	0,50	0,35
Coefficiente Sesgo	1,32	1,31	0,66
$\alpha$ Gumbel	0,36	0,39	0,27
$\mu$ Gumbel	0,79	0,78	0,84
$\gamma$	0,16	0,12	0,06
Alfa	3,34	4,48	8,72
Beta	0,30	0,22	0,11
Alfa 3P	2,28	2,32	9,06
Beta 3P	0,31	0,33	0,12
Xo	0,30	0,25	-0,04
Media Ln	-0,16	-0,12	-0,06
Desviación estándar Ln	0,61	0,50	0,35
Coefficiente sesgo Ln	-0,81	-0,58	-0,25
Alfa 3P Ln	6,05	11,77	65,93
Beta 3P Ln	-0,25	-0,15	-0,04
Xo Ln	1,34	1,60	2,81
$\alpha$ Log Gumbel	0,48	0,39	0,28
$\mu$ Log Gumbel	-0,43	-0,34	-0,22
Años de registro	97,00	90,00	28,00
Máximo registrado	3,28	2,73	1,82

Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

Tabla IX. **Coefficientes regionales de ajuste para análisis de máximos**

DISTRIBUCIÓN NORMAL	Probabilidad	Período de retorno	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,50	2	1,00	1,00	1,00
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,80	5	1,39	1,42	1,29
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,90	10	1,59	1,64	1,44
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,93	15	1,69	1,74	1,52
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,95	20	1,76	1,82	1,57
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,96	25	1,81	1,87	1,61
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,97	30	1,85	1,91	1,64
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,98	50	1,95	2,02	1,71
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,99	75	2,03	2,10	1,77
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,99	100	2,08	2,15	1,81
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0,998	500	2,33	2,43	2,00
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	Probabilidad	Período de retorno	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,50	2	0,85	0,89	0,94
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,80	5	1,43	1,36	1,27
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,90	10	1,87	1,69	1,48
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,93	15	2,13	1,89	1,60
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,95	20	2,33	2,03	1,69
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,96	25	2,48	2,14	1,75
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,97	30	2,61	2,23	1,80
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,98	50	2,99	2,49	1,95
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,99	75	3,30	2,70	2,06
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,99	100	3,53	2,85	2,15
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0,998	500	4,94	3,75	2,61

Continuación de la tabla IX.

DISTRIBUCIÓN GAMMA	Probabilidad	Período de retorno	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,50	2	0,90	0,93	0,96
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,80	5	1,41	1,36	1,27
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,90	10	1,73	1,63	1,45
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,93	15	1,91	1,78	1,55
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,95	20	2,04	1,88	1,61
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,96	25	2,13	1,96	1,66
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,97	30	2,20	2,02	1,70
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,98	50	2,41	2,19	1,81
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,99	75	2,57	2,32	1,89
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,99	100	2,69	2,41	1,95
DISTRIBUCIÓN GAMMA	0,998	500	3,30	2,90	2,25
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	Probabilidad	Período de retorno	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,50	2	0,90	0,89	0,96
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,80	5	1,33	1,36	1,27
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,90	10	1,62	1,66	1,46
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,93	15	1,78	1,84	1,56
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,95	20	1,89	1,95	1,63
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,96	25	1,98	2,05	1,68
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,97	30	2,05	2,12	1,72
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,98	50	2,24	2,32	1,83
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,99	75	2,39	2,48	1,91
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,99	100	2,49	2,60	1,97
DISTRIBUCIÓN GAMMA 3P	0,998	500	3,07	3,21	2,28

Continuación de la tabla IX.

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	Probabilidad	Período de retorno	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,50	2	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,80	5	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,90	10	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,93	15	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,95	20	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,96	25	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,97	30	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,98	50	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,99	75	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,99	100	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III	0,998	500	NSA	NSA	NSA
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	Probabilidad	Período de retorno	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,50	2	0,92	0,92	0,94
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,80	5	1,33	1,36	1,25
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,90	10	1,60	1,65	1,45
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,93	15	1,76	1,81	1,57
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,95	20	1,86	1,92	1,65
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,96	25	1,95	2,01	1,71
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,97	30	2,01	2,08	1,76
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,98	50	2,20	2,28	1,90
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,99	75	2,35	2,44	2,01
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	0,99	100	2,45	2,55	2,09
DISTRIBUCIÓN GUMBEL	1,00	500	3,03	3,18	2,52

Continuación de la tabla IX.

DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	Probabilidad	Período de retorno	REGIÓN V	REGIÓN VI	REGIÓN VII
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,50	2	0,77	0,82	0,89
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,80	5	1,32	1,28	1,22
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,90	10	1,89	1,71	1,50
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,93	15	2,31	2,02	1,68
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,95	20	2,66	2,26	1,82
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,96	25	2,97	2,47	1,94
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,97	30	3,24	2,66	2,04
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,98	50	4,15	3,25	2,36
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,99	75	5,04	3,82	2,64
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0,99	100	5,78	4,27	2,86
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	1,00	500	12,43	8,01	4,46

Fuente: Insivumeh, [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.

Ya obtenidos los coeficientes regionales de ajuste para el análisis de máximos, se procede a determinar los errores promedios, multiplicando los caudales medios por el factor de ajuste de la región, a la cual pertenece dicha cuenca, y se ajustan las diferentes distribuciones estadísticas (Normal, Log Normal, Gamma, Gamma 3P, Log Pearson, Gumbel y Log Gumbel).

Tabla X. **Error promedio cuenca Camotán**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
437,94	437,936	0,00
579,10	608,417204	5,06
652,90	697,530751	6,84
689,72	742,000263	7,58
713,83	771,122256	8,03
731,59	792,559978	8,33
745,55	809,418994	8,57
782,42	853,949254	9,14
809,70	886,888784	9,53
828,14	909,16768	9,78
920,70	1 020,94467	10,89
Distribución Log Normal		
404,45	374,270894	7,46
580,26	625,005266	7,71
700,74	817,130968	16,61
769,92	934,074849	21,32
818,88	1 019,58491	24,51
856,91	1 087,49495	26,91
888,04	1 144,06312	28,83
975,84	1 308,03495	34,04
1 046,32	1 444,26829	38,03
1 096,86	1 544,36709	40,80
1 389,71	2 161,54127	55,54
Distribución Gamma		
415,53	395,126516	4,91
572,61	616,653704	7,69
668,27	759,119945	13,60
719,61	837,413957	16,37
754,57	891,343749	18,13
780,98	932,403348	19,39
802,16	965,510026	20,36
859,83	1 056,44607	22,87
904,13	1 127,00362	24,65

Continuación de la tabla X.

934,88	1 176,32842	25,83
1 099,02	1 443,62105	31,35
Distribución Gamma 3P		
NSA	394,58356	NSA
578,24	582,937869	0,81
654,59	709,077902	8,32
693,10	779,557158	12,47
718,47	828,498911	15,31
737,22	865,954523	17,46
752,00	896,268255	19,18
791,25	980,005897	23,86
820,46	1 045,40901	27,42
840,30	1 091,33117	29,87
940,87	1 342,5925	42,70
Distribución Log Pearson III		
NSA	NSA	NSA
Distribución Gumbel		
410,39	404,668889	1,39
558,62	583,679656	4,49
656,76	702,20036	6,92
712,13	769,068739	7,99
750,90	815,888264	8,65
780,77	851,951583	9,12
805,06	881,290111	9,47
872,76	963,045596	10,35

Continuación de la tabla X.

926,23	1 027,61767	10,95
964,07	1 073,31931	11,33
1 175,08	1 328,14502	13,03
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
376,95	338,633261	10,16
550,65	580,18875	5,36
707,70	828,688908	17,10
815,33	1 013,3067	24,28
900,29	1 166,54291	29,57
971,72	1 300,19896	33,80
1 033,99	1 420,15057	37,35
1 229,39	1 816,06185	47,72
1 409,48	2 205,36455	56,47
1 552,68	2 530,34598	62,97
2 663,08	5 445,72596	104,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Error promedio cuenca Petapilla**

<b>Distribución Normal</b>		
Original	Modelo	Error %
352,53	352,53314	0,00
467,97	489,768431	4,66
528,31	561,50375	6,28
558,42	597,301165	6,96
578,14	620,744014	7,37
592,66	638,001119	7,65
604,07	651,572421	7,86
634,23	687,418737	8,39
656,53	713,934658	8,74
671,62	731,868897	8,97
747,31	821,848015	9,97

Continuación de la tabla XI.

Distribución Log Normal		
331,46	301,283506	9,10
446,30	503,121619	12,73
521,39	657,780466	26,16
563,46	751,918864	33,45
592,84	820,753422	38,44
615,44	875,420174	42,24
633,81	920,956862	45,30
685,03	1 052,95219	53,71
725,56	1 162,61836	60,24
754,32	1 243,19668	64,81
916,79	1 740,01436	89,79
Distribución Gamma		
338,44	318,072027	6,02
449,39	496,398713	10,46
515,83	611,0823	18,47
551,23	674,108025	22,29
575,24	717,52085	24,73
593,33	750,573326	26,50
607,81	777,223799	27,87
647,14	850,426209	31,41
677,24	907,224175	33,96
698,09	946,930034	35,65
808,79	1 162,09734	43,68
Distribución Gamma 3P		
329,56	317,634955	3,62
456,07	469,257877	2,89
536,41	570,799065	6,41
580,33	627,534007	8,13
610,50	666,931522	9,24
633,44	697,082833	10,05
651,91	721,485017	10,67
702,54	788,892798	12,29
741,74	841,541504	13,46
769,10	878,508282	14,22

Continuación de la tabla XI.

916,90	1 080,77059	17,87
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
315,84	NSA	NSA
436,21	NSA	NSA
531,75	NSA	NSA
591,60	NSA	NSA
636,23	NSA	NSA
672,21	NSA	NSA
702,54	NSA	NSA
792,40	NSA	NSA
869,26	NSA	NSA
927,03	NSA	NSA
1 307,84	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
330,01	325,753522	1,29
451,22	469,855006	4,13
531,47	565,262728	6,36
576,75	619,090958	7,34
608,46	656,780105	7,94
632,87	685,810637	8,36
652,74	709,427794	8,68
708,10	775,239962	9,48
751,82	827,219696	10,03
782,77	864,008955	10,38
955,32	1 069,14055	11,91
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
312,76	272,595646	12,84
427,44	467,04487	9,26
525,66	667,084467	26,90
590,72	815,699541	38,09
641,01	939,052819	46,50
682,64	1 046,64431	53,32
718,50	1 143,2039	59,11
828,68	1 461,90765	76,41
927,53	1 775,29157	91,40

Continuación de la tabla XI.

1 004,53	2 036,89766	102,77
1 567,06	4 383,743	179,74

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Error promedio cuenca Morales**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
1 167,99	1 167,99333	0,00
1 452,28	1 622,67372	11,73
1 600,88	1 860,34322	16,21
1 675,03	1 978,94523	18,14
1 723,59	2 056,61479	19,32
1 759,34	2 113,79008	20,15
1 787,45	2 158,75377	20,77
1 861,71	2 277,5178	22,33
1 916,64	2 365,36888	23,41
1 953,79	2 424,78761	24,11
2 140,18	2 722,90146	27,23
Distribución Log Normal		
1 121,64	998,195876	11,01
1 439,03	1 666,91476	15,84
1 639,22	2 179,32192	32,95
1 749,30	2 491,21606	42,41
1 825,37	2 719,27492	48,97
1 883,47	2 900,39378	53,99
1 930,46	3 051,26342	58,06
2 060,28	3 488,58304	69,33
2 161,90	3 851,92295	78,17
2 233,46	4 118,89058	84,42
2 629,85	5 764,91951	119,21
Distribución Gamma		
1 137,04	1 053,81868	7,32

Continuación de la tabla XII.

1 432,97	1 644,6408	14,77
1 606,01	2 024,60413	26,06
1 697,20	2 233,41748	31,59
1 758,70	2 377,25046	35,17
1 804,88	2 486,7581	37,78
1 841,73	2 575,05497	39,82
1 941,39	2 817,58515	45,13
2 017,28	3 005,76504	49,00
2 069,67	3 137,3163	51,59
2 345,51	3 850,19675	64,15
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
1 148,43	1 052,37059	8,36
1 445,07	1 554,71928	7,59
1 611,51	1 891,13994	17,35
1 697,54	2 079,11102	22,48
1 754,96	2 209,64069	25,91
1 797,78	2 309,53635	28,47
1 831,79	2 390,38432	30,49
1 923,01	2 613,71606	35,92
1 991,81	2 788,14884	39,98
2 038,98	2 910,62513	42,75
2 283,48	3 580,74945	56,81
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA

Continuación de la tabla XII.

Distribución Gumbel		
1 112.52	1 079,26858	2,99
1 411.03	1 556,69766	10,32
1 608.66	1 872,79726	16,42
1 720.17	2 051,13798	19,24
1 798.24	2 176,00758	21,01
1 858.38	2 272,18993	22,27
1 907.30	2 350,43699	23,23
2 043.63	2 568,48223	25,68
2 151.31	2 740,69862	27,40
2 227.52	2 862,58676	28,51
2 652.45	3 542,21742	33,55
Distribución Log Gumbel		
1 068,40	903,148843	15,47
1 387,93	1 547,38727	11,49
1 650,44	2 210,14742	33,91
1 819,90	2 702,53067	48,50
1 948,80	3 111,21795	59,65
2 054,28	3 467,68413	68,80
2 144,28	3 787,60002	76,64
2 416,45	4 843 51168	100,44
2 655,62	5 881,798	121,48
2 839,07	6 748,53685	137,70
4 120,34	14 523,9752	252,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Error promedio cuenca Puente Orellana**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
1 098,90	1 098,903	0,00
1 473,42	1 526,68767	3,61
1 669,19	1 750,2983	4,86
1 766,89	1 861,88465	5,38
1 830,86	1 934,95981	5,69
1 877,96	1 988,75301	5,90
1 914,99	2 031,05696	6,06
2 012,82	2 142,79574	6,46
2 085,18	2 225,45017	6,73
2 134,13	2 281,3541	6,90
2 379,68	2 561,83361	7,65
Distribución Log Normal		
996,59	939,149575	5,76
1 497,95	1 568,31172	4,70
1 853,57	2 050,40844	10,62
2 061,45	2 343,85311	13,70
2 210,07	2 558,42159	15,76
2 326,27	2 728,82673	17,30
2 421,93	2 870,77197	18,53
2 693,95	3 282,22281	21,84
2 914,64	3 624,07007	24,34
3 074,07	3 875,24576	26,06
4 015,61	5 423,90711	35,07
Distribución Gamma		
1 030,37	991,482119	3,77
1 468,22	1 547,35533	5,39
1 738,84	1 904,84268	9,55
1 885,07	2 101,30409	11,47
1 984,95	2 236,62891	12,68
2 060,58	2 339,65885	13,54
2 121,32	2 422,73269	14,21
2 287,13	2 650,91648	15,91
2 414,86	2 827,96496	17,11

Continuación de tabla XIII.

2 503,72	2 951,73456	17,89
2 980,07	3 622,44598	21,56
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
NSA	990,119694	NSA
NSA	1 462,75294	NSA
NSA	1 779,2733	NSA
NSA	1 956,12532	NSA
NSA	2 078,93377	NSA
NSA	2 172,9203	NSA
NSA	2 248,98587	NSA
NSA	2 459,10686	NSA
NSA	2 623,22141	NSA
NSA	2 738,45286	NSA
NSA	3 368,9373	NSA
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
1 025,82	1 015,42658	1,01
1 419,08	1 464,61429	3,21
1 679,45	1 762,01564	4,92
1 826,35	1 929,80697	5,66
1 929,21	2 047,29016	6,12
2 008,43	2 137,78303	6,44
2 072,88	2 211,40154	6,68

Continuación de la tabla XIII.

2 252,49	2 416,54875	7,28
2 394,34	2 578,57801	7,69
2 494,74	2 693,25611	7,96
3 054,56	3 332,68456	9,11
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
920,41	849,724861	7.68%
1 411,94	1 455,85464	3.11%
1 874,37	2 079,41052	10.94%
2 199,24	2 542,66782	15.62%
2 459,68	2 927,18001	19.01%
2 681,12	3 262,56014	21.69%
2 875,89	3 563,55204	23.91%
3 496,59	4 557,00334	30.33%
4 080,18	5 533,87189	35.63%
4 551,17	6 349,34051	39.51%
8 368,80	13 664,8382	63.28%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Error promedio cuenca Chiché**

<b>Distribución Normal</b>		
Original	Modelo	Error %
28,56	28,56	0,00
37,09	39,6779332	6,99
41,54	45,4894739	9,50
43,77	48,3895535	10,57
45,22	50,2887445	11,21
46,29	51,6868058	11,65
47,14	52,7862667	11,99
49,36	55,6903079	12,82
51,01	57,8384597	13,38
52,12	59,291378	13,75
57,71	66,5809157	15,36

Continuación de la tabla XIV.

Distribución Log Normal		
26,79	24,4080796	8,89
36,98	40,7597238	10,23
43,76	53,2892031	21,78
47,60	60,9156993	27,98
50,29	66,4922388	32,22
52,37	70,9209924	35,42
54,07	74,6100862	38,00
58,81	85,3035104	45,04
62,59	94,1879687	50,48
65,28	100,715913	54,27
80,64	140,964932	74,80
Distribución Gamma		
27,38	25,7681791	5,87
36,54	40,2150766	10,06
42,04	49,5060137	17,76
44,97	54,6119584	21,44
46,96	58,1289903	23,78
48,46	60,8066923	25,47
49,66	62,9657446	26,78
52,93	68,8961398	30,17
55,43	73,4975509	32,60
57,16	76,7142679	34,21
66,36	94,1457593	41,87
Distribución Gamma 3P		
NSA	25,7327703	NSA
NSA	38,0162981	NSA
NSA	46,2425215	NSA
43,93	50,8388268	15,72
45,45	54,0305636	18,88
46,57	56,4732317	21,26
47,45	58,450142	23,17
49,80	63,911093	28,34
51,54	68,1763573	32,28
52,72	71,1711713	34,99

Continuación de la tabla XIV.

58,70	87,5571814	49,15
Distribución Log Pearson III		
NSA	NSA	NSA
Distribución Gumbel		
26,90	26,3904851	1,88
35,85	38,0646738	6,18
41,78	45,7940025	9,62
45,12	50,1548244	11,16
47,46	53,2081602	12,11
49,26	55,5600298	12,78
50,73	57,4733422	13,29
54,82	62,8050268	14,57
58,05	67,0160952	15,45
60,33	69,9965278	16,02
73,08	86,6149889	18,53
Distribución Log Gumbel		
25,16	22,083971	12,22
35,29	37,8370143	7,23
44,15	54,0429543	22,41
50,10	66,0828053	31,91
54,73	76,0761059	39,00
58,59	84,7924863	44,72
61,93	92,6151318	49,54
72,28	118,434489	63,85
81,67	143,822868	76,11

Continuación de la tabla XIV.

89,04	165,016535	85,34
144,13	355,143065	146,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Error promedio cuenca Panajax**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
305,85	305,8517	0,00
542,90	424,914682	21,73
666,80	487,151013	26,94
728,64	518,208235	28,88
769,13	538,546849	29,98
798,94	553,518817	30,72
822,38	565,293046	31,26
884,29	596,392694	32,56
930,10	619,397452	33,40
961,07	634,95689	33,93
1 116,49	713,021228	36,14
Distribución Log Normal		
212,43	261,388397	23,05
471,77	436,499679	7,48
715,90	570,679039	20,29
881,54	652,351897	26,00
1 010,26	712,071578	29,52
1 116,87	759,499514	32,00
1 208,57	799,006362	33,89
1 488,61	913,523238	38,63
1 736,72	1 008,66773	41,92
1 927,58	1 078,57609	44,05
3 252,40	1 509,60659	53,58
Distribución Gamma		
241,92	275,95383	14,07

Continuación de la tabla XV.

472,61	430,667001	8,87
635,52	530,164512	16,58
728,44	584,844549	19,71
793,61	622,508771	21,56
843,79	651,184532	22,83
884,59	674,306024	23,77
998,03	737,815178	26,07
1 087,32	787,092118	27,61
1 150,32	821,54024	28,58
1 498,78	1 008,2157	32,73
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
222,45	275,574633	23,88
481,71	407,120077	15,48
674,69	495,215469	26,60
786,92	544,437731	30,81
866,34	578,618338	33,21
927,84	604,777098	34,82
978,04	625,948014	36,00
1 118,44	684,429848	38,81
1 229,68	730,10696	40,63
1 308,51	762,178702	41,75
1 748,43	937,658011	46,37
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA

Continuación de la tabla XV.

Distribución Gumbel		
259,60	282,618163	8,87
508,50	407,638137	19,84
673,30	490,412238	27,16
766,27	537,112686	29,91
831,37	569,811143	31,46
881,52	594,997534	32,50
922,31	615,487374	33,27
1 035,99	672,584881	35,08
1 125,77	717,681606	36,25
1 189,32	749,599336	36,97
1 543,64	927,567983	39,91
Distribución Log Gumbel		
181,80	236,499303	30,08
420,19	405,200111	3,57
731,72	578,751031	20,91
1 000,59	707,686917	29,27
1 245,72	814,706104	34,60
1 474,75	908,050633	38,43
1 691,81	991,824072	41,37
2 480,40	1 268,32597	48,87
3 355,58	1 540,21249	54,10
4 155,82	1 767,17744	57,48
13 696,17	3 803,26017	72,23

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Error promedio cuenca Telemán**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
295,16	295,163333	0,00
433,44	418,265119	3,50
505,72	482,612603	4,57
541,79	514,723335	5,00
565,42	535,751866	5,25
582,80	551,231707	5,42
596,48	563,405337	5,54
632,60	595,559934	5,85
659,32	619,345048	6,06
677,39	635,432287	6,19
768,05	716,14469	6,76
Distribución Log Normal		
271,92	262,874742	3,33
371,12	400,361563	7,88
436,64	498,8325	14,24
473,54	556,688702	17,56
499,38	598,166715	19,78
519,29	630,662345	21,45
535,51	657,452818	22,77
580,84	733,816308	26,34
616,81	795,954833	29,04
642,40	840,939129	30,91
787,71	1 108,03936	40,67
Distribución Gamma		
279,61	273,511949	2,18
387,16	401,705125	3,76
452,80	482,003211	6,45
488,07	525,642309	7,70
512,09	555,534823	8,48
530,25	578,211917	9,05
544,81	596,449014	9,48
584,48	646,342439	10,58
614,96	684,87317	11,37

Continuación de la tabla XVI.

636,13	711,724195	11,88
749,18	856,212009	14,29
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
228,80	264,103547	15,43
358,26	400,091716	11,68
484,18	490,98453	1,41
564,08	541,730066	3,96
622,80	576,9551	7,36
669,30	603,906672	9,77
707,84	625,715459	11,60
818,07	685,943595	16,15
907,53	732,970419	19,23
971,88	765,983264	21,19
1 341,97	946,533293	29,47
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
237,25	NSA	NSA
326,80	NSA	NSA
429,48	NSA	NSA
507,26	NSA	NSA
572,07	NSA	NSA
628,63	NSA	NSA
679,37	NSA	NSA
846,41	NSA	NSA
1 009,89	NSA	NSA
1 145,77	NSA	NSA
2 347,15	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
268,18	271,141678	1,10
413,38	400,402525	3,14
509,51	485,984454	4,62
563,75	534,269055	5,23
601,73	568,076694	5,59
630,98	594,117447	5,84
654,77	615,302335	6,03
721,09	674,336679	6,48

Continuación de la tabla XVI.

773,46	720,963155	6,79
810,53	753,963585	6,98
1 017,22	937,969207	7,79
Distribución Log Gumbel		
255,90	242,156833	5,37
354,74	376,652902	6,18
440,37	504,613806	14,59
497,51	595,143239	19,62
541,87	668,032609	23,28
578,72	730,207803	26,18
610,54	785,033817	28,58
708,75	960,517202	35,52
797,36	1 126,43618	41,27
866,69	1 260,91181	45,49
1 379,66	2 364,71961	71,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Error promedio cuenca Chilascó**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
13,48	13,484242	0,00
19,32	19,108024	1,08
22,37	22,0476745	1,42
23,89	23,5146213	1,56
24,88	24,4752887	1,64
25,62	25,1824697	1,70
26,19	25,7386098	1,74
27,72	27,2075605	1,84
28,84	28,2941597	1,91
29,61	29,0290891	1,95
33,43	32,7163546	2,14

Continuación de la tabla XVII.

Distribución Log Normal		
11,41	12,0091699	5,23
19,94	18,2901179	8,28
26,70	22,7886643	14,64
30,88	25,4317671	17,64
33,97	27,3266487	19,55
36,44	28,811179	20,93
38,50	30,035075	22,00
44,55	33,5236648	24,75
49,62	36,3624012	26,72
53,37	38,4174638	28,02
76,96	50,6196708	34,22
Distribución Gamma		
12,09	12,4951201	3,35
19,12	18,3514973	4,00
23,66	22,0198351	6,94
26,16	24,0134436	8,22
27,89	25,3790533	9,01
29,21	26,4150337	9,56
30,27	27,2481772	9,98
33,18	29,5275085	11,02
35,45	31,2877464	11,74
37,03	32,5144087	12,21
45,63	39,1151901	14,29
Distribución Gamma 3P		
12,93	12,0653066	6,65
19,09	18,2777903	4,28
22,65	22,4301377	0,96
24,51	24,7483967	0,98
25,76	26,3576173	2,33
26,69	27,5888729	3,30
27,44	28,5851855	4,17
29,45	31,3366477	6,40
30,98	33,4850212	8,10
32,03	34,99318	9,26

Continuación de la tabla XVII.

37,53	43,2414277	15,21
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
12,35	12,3868366	0,33
18,47	18,2919893	0,97
22,53	22,2017142	1,44
24,81	24,4075479	1,64
26,42	25,9520161	1,75
27,65	27,1416619	1,84
28,65	28,1094724	1,90
31,45	30,8063974	2,05
33,66	32,9364813	2,15
35,22	34,444073	2,21
43,94	42,850186	2,48
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
10,23	11,062693	8.09
18,39	17,2070115	6.43
27,11	23,0527775	14.96
33,74	27,1885242	19.42
39,33	30,5184022	22.40
44,26	33,3588139	24.62
48,72	35,8634855	26.39
63,67	43,8802686	31.08
78,65	51,4601112	34.57

Continuación de la tabla XVII.

91,35	57,6034963	36.94
210,37	108,029852	48.65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Error promedio cuenca Matucuy**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
397,45	397,452366	0,00
582,04	563,21515	3,23
678,52	649,862295	4,22
726,67	693,101021	4,62
758,20	721,417002	4,85
781,41	742,261391	5,01
799,67	758,653799	5,13
847,88	801,951592	5,42
883,55	833,979452	5,61
907,67	855,641733	5,73
1 028,69	964,325068	6,26
Distribución Log Normal		
346,36	353,974143	2,20
543,08	539,107106	0,73
687,02	671,703207	2,23
772,54	749,60951	2,97
834,23	805,461755	3,45
882,77	849,218764	3,80
922,92	885,293492	4,08
1 037,97	988,120797	4,80
1 132,21	1 071,79347	5,34
1 200,76	1 132,3671	5,70
1 612,60	1 492,03107	7,48
Distribución Gamma		
363,14	368,297681	1,42

Continuación de tabla XVIII.

551,35	540,916281	1,89
670,96	649,041718	3,27
736,36	707,803971	3,88
781,30	748,055755	4,25
815,46	778,59161	4,52
842,97	803,148783	4,72
918,41	870,332805	5,23
976,81	922,216384	5,59
1 017,59	958,372648	5,82
1 237,87	1 152,9328	6,86
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
363,00	355,628792	2,03
564,70	538,743745	4,60
691,31	661,135518	4,37
760,18	729,46695	4,04
807,38	776,899242	3,77
843,19	813,190897	3,56
872,00	842,557533	3,38
950,84	923,657766	2,86
1 011,75	986,981764	2,45
1 054,20	1 031,43523	2,16
1 282,80	1 274,55498	0,64
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
341,07	NSA	NSA
540,33	NSA	NSA
693,31	NSA	NSA
786,95	NSA	NSA
855,74	NSA	NSA
910,56	NSA	NSA
956,38	NSA	NSA
1 089,95	NSA	NSA
1 201,81	NSA	NSA
1 284,52	NSA	NSA
1 804,42	NSA	NSA

Continuación de la tabla XVIII.

Distribución Gumbel		
361,43	365,105992	1,02
555,25	539,162265	2,90
683,58	654,402663	4,27
755,98	719,420321	4,84
806,67	764,944019	5,17
845,72	800,009211	5,40
877,49	828,535734	5,58
966,00	908,028466	6,00
1 035,92	970,813376	6,28
1 085,40	1 015,25012	6,46
1 361,31	1 263,02301	7,22
Distribución Log Gumbel		
317,26	326,076431	2,78
508,77	507,182194	0,31
695,53	679,488028	2,31
829,72	801,390491	3,41
938,81	899,539717	4,18
1 032,52	983,261762	4,77
1 115,61	1 057,08776	5,25
1 384,16	1 293,38502	6,56
1 641,24	1 516,80332	7,58
1 851,55	1 697,88157	8,30
3 626,67	3 184,21463	12,20

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Error promedio cuenca Cahaboncito**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
1 701,97	1 701,97311	0,00
2 324,83	2 411,80359	3,74
2 650,41	2 782,84456	5,00
2 812,88	2 968,00171	5,51
2 919,27	3 089,25659	5,82
2 997,60	3 178,51657	6,04
3 059,19	3 248,71225	6,20
3 221,88	3 434,12233	6,59
3 342,23	3 571,27225	6,85
3 423,62	3 664,03461	7,02
3 832,00	4 129,43909	7,76
Distribución Log Normal		
1 581,61	1 515,79039	4,16
2 166,65	2 308,56796	6,55
2 554,12	2 876,37185	12,62
2 772,66	3 209,98273	15,77
2 925,81	3 449,15358	17,89
3 043,93	3 636,53013	19,47
3 140,16	3 791,00956	20,73
3 409,23	4 231,33732	24,11
3 622,99	4 589,64096	26,68
3 775,12	4 849,02976	28,45
4 640,37	6 389,18517	37,69
Distribución Gamma		
1 621,46	1 577,12673	2,73
2 207,11	2 316,31523	4,95
2 561,78	2 779,33068	8,49
2 751,71	3 030,96278	10,15
2 880,85	3 203,32923	11,19
2 978,33	3 334,09007	11,94
3 056,45	3 439,24895	12,52
3 269,01	3 726,94481	14,01
3 432,09	3 949,12101	15,06

Continuación de la tabla XIX.

3 545,23	4 103,9496	15,76
4 148,01	4 937,09636	19,02
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
1 489,56	1 522,87593	2,24
2 172,91	2 307,01198	6,17
2 674,96	2 831,11883	5,84
2 965,57	3 123,72813	5,33
3 170,77	3 326,843	4,92
3 329,46	3 482,25136	4,59
3 458,86	3 608,00536	4,31
3 820,29	3 955,29331	3,53
4 106,19	4 226,45974	2,93
4 308,60	4 416,81867	2,51
5 435,80	5 457,90765	0,41
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
1 514,71	NSA	NSA
2 125,35	NSA	NSA
2 603,62	NSA	NSA
2 901,07	NSA	NSA
3 121,93	NSA	NSA
3 299,45	NSA	NSA
3 448,78	NSA	NSA
3 889,34	NSA	NSA
4 264,28	NSA	NSA
4 545,03	NSA	NSA
6 376,20	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
1 580,43	1 563,45926	1,07
2 234,45	2 308,80417	3,33
2 667,47	2 802,28735	5,05
2 911,77	3 080,70639	5,80
3 082,83	3 275,64827	6,25
3 214,58	3 425,80466	6,57
3 321,77	3 547,96112	6,81
3 620,47	3 888,36542	7,40

Continuación de la tabla XIX.

3 856,38	4 157,22337	7,80
4 023,35	4 347,5107	8,06
4 954,36	5 408,52536	9,17
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
1 487,39	1 396,32662	6,12
2 069,93	2 171,8589	4,92
2 576,23	2 909,70806	12,94
2 914,74	3 431,71959	17,74
3 177,89	3 852,01484	21,21
3 396,68	4 210,52993	23,96
3 585,74	4 526,66812	26,24
4 169,94	5 538,54178	32,82
4 697,89	6 495,26506	38,26
5 111,48	7 270,67954	42,24
8 182,11	1 365,4646	66,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Error promedio cuenca San Pedro Cárdenas**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
32,75	32,7461632	0,00
40,72	42,2893306	3,85
44,89	47,2777134	5,32
46,97	49,76702	5,96
48,33	51,3972059	6,34
49,33	52,5972431	6,62
50,12	53,5409742	6,82
52,20	56,0336814	7,33
53,75	57,8775647	7,69
54,79	59,1246889	7,92
60,02	65,3817222	8,94

Continuación de la tabla XX.

Distribución Log Normal		
31,47	30,8859584	1,86
40,37	41,5852656	3,00
45,99	48,5806495	5,64
49,07	52,4999773	6,99
51,20	55,2364383	7,87
52,83	57,3415769	8,53
54,15	59,0533014	9,05
57,79	63,8242927	10,44
60,64	67,5997699	11,48
62,64	70,2791601	12,19
73,75	85,4128339	15,81
Distribución Gamma		
31,90	31,502889	1,23%
40,10	41,5326839	3,56%
44,90	47,5195538	5,84%
47,42	50,704873	6,92%
49,13	52,8633898	7,61%
50,41	54,489367	8,10%
51,43	55,7902532	8,49
54,18	59,3209693	9,48
56,28	62,0217486	10,20
57,73	63,8917375	10,67
65,36	73,8080874	12,93
Distribución Gamma 3P		
31,98	31,499057	1,50
40,41	41,7433725	3,29
45,28	47,8437896	5,67
47,82	51,0860399	6,83
49,53	53,2819215	7,57
50,81	54,9354419	8,12
51,83	56,2580096	8,54
54,58	59,8460746	9,64
56,67	62,5893439	10,44
58,11	64,4881011	10,97

Continuación de la tabla XX.

65,65	74,5490903	13,56
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
31,19	30,8839426	0,98
39,56	40,9045764	3,39
45,11	47,5391079	5,39
48,23	51,2822546	6,32
50,42	53,9031099	6,90
52,11	55,9218561	7,31
53,48	57,5641632	7,63
57,31	62,1406576	8,43
60,33	65,7552621	9,00
62,47	68,3135404	9,36
74,39	82,5781302	11,01
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
29,98	29,144302	2,79
38,94	39,8286095	2,28
46,30	48,9780636	5,78
51,05	55,0388892	7,81
54,66	59,7236208	9,26
57,62	63,6022265	10,38
60,14	66,942657	11,30
67,77	77,206057	13,92
74,48	86,4130727	16,03

Continuación de la tabla XX.

79,62	93,585564	17,54
115,53	145,981379	26,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Error promedio cuenca Modesto Méndez**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
347,58	347,577	0,00
466,51	448,870868	3,78
528,69	501,818967	5,08
559,71	528,24117	5,62
580,03	545,544422	5,95
594,98	558,281954	6,17
606,75	568,298982	6,34
637,81	594,757278	6,75
660,79	614,328775	7,03
676,34	627,566103	7,21
754,32	693,980017	8,00
Distribución Log Normal		
321,72	327,832263	1,90
455,69	441,397723	3,14
546,64	515,648699	5,67
598,60	557,249547	6,91
635,28	586,295116	7,71
663,71	608,63965	8,30
686,96	626,808376	8,76
752,35	677,449021	9,96
804,70	717,523	10,83
842,16	745,962802	11,42
1 058,09	906,595879	14,32
Distribución Gamma		
330,28	334,380538	1,24

Continuación de la tabla XXI.

453,14	440,839607	2,72
527,82	504,38593	4,44
567,87	538,195805	5,22
595,12	561,106911	5,72
615,70	578,36549	6,06
632,20	592,173463	6,33
677,13	629,649479	7,01
711,62	658,31631	7,49
735,57	678,164899	7,80
863,27	783,419831	9,25
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
330,12	334,339864	1,28
458,55	443,075915	3,37
536,20	507,82746	5,29
577,75	542,241618	6,15
605,99	565,549324	6,67
627,30	583,100255	7,05
644,38	597,138361	7,33
690,83	635,223093	8,05
726,45	664,340927	8,55
751,16	684,494871	8,88
882,74	791,285045	10,36
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA

Continuación de la tabla XXI.

Distribución Gumbel		
324,37	327,810866	1,06
449,26	434,172696	3,36
531,94	504,593483	5,14
578,59	544,324295	5,92
611,26	572,142792	6,40
636,42	593,570333	6,73
656,89	611,002243	6,99
713,92	659,578444	7,61
758,97	697,944874	8,04
790,86	725,099161	8,31
968,64	876,507536	9,51
Distribución Log Gumbel		
300,59	309,345831	2,91
433,24	422,75208	2,42
551,88	519,866964	5,80
632,62	584,198274	7,65
696,09	633,923335	8,93
749,29	675,091949	9,90
795,55	710,548219	10,68
940,10	819,486837	12,83
1 072,61	917,212696	14,49
1 177,53	993,343538	15,64
1 981,36	1 549,48748	21,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Error promedio por región**

REGIÓN V	29,56 %
REGIÓN VI	10,20 %
REGIÓN VII	7,57 %

Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Modelos matemáticos

Se determina un modelo matemático para calcular el caudal medio, que tiene como variables ciertos parámetros morfométricos de las cuencas bajo análisis (área, perímetro, longitud de cauce principal).

Tabla XXIII. **Propiedades morfométricas**

No.	Estación/cuenca	qm	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud (km)	Diferencia de H
1	CHICHÉ	28,56	197,6693	93,914	30,0642	1 503
2	CONCUÁ II	577,554857	2 488,8231	323,484	104,4223	2 749
3	PANAJAX	305,8517	1 510,0325	251,0982	81,6469	2 262
4	PUENTE ORELLANA	1 098,90300	5 733,4356	533,5984	186,9563	3 094
5	PETAPILLA	352,533140	1 189,5379	230,0214	71,4507	1 784
6	CAMOTÁN	437,936000	705,3881	174,2854	70,0448	1 458
7	MORALES	1 167,99333	1 2863,185	1 079,9469	380,8218	3 328
8	CHILASCÓ	13,484242	57,4545	39,7755	14,3148	827
9	MATUCUY	397,452366	830,3006	180,6566	62,9533	2 906
10	TELEMÁN	295,163333	1 498,3057	241,7156	83,5201	2 953
11	CAHABONCITO	1 701,97311	2 446,4845	469,8663	176,6521	2 643
12	SAN PEDRO CÁRDENAS	32,7461632	83,3656	80,9467	25,7942	541
13	MODESTO MÉNDEZ	347,577	1 527,7645	371,2336	111,4968	1 348

Fuente: elaboración propia.

Con base en un análisis de regresiones por medio del software Eureka, se determinaron los modelos matemáticos para cada región.

Región V:

$$x = 189,655828577675*z + 0,11402844425965*y*z - 10\ 316,6569707508 - 9,79813011014196*y - 0,169045432414188*y*w - 0,706611323146342*z^2$$

Región VI:

$$x = 6,35717880401479*z + 1,47186793424708e-6*w*y^2 - 206,833944896363 - 0,555356193430882*y - 0,000213151439413198*y^2$$

Región VII:

$$x = 1,08455061816431*z - 55,0446303633606$$

Donde:

$x$  : caudal medio.

$y$  : área de la cuenca.

$Z$ : perímetro de la cuenca.

$W$ : longitud del cauce principal.

Ejemplo:

Cuenca Concuá II:

Teniendo el modelo matemático para la región V, se sustituyen los parámetros morfométricos principales, antes mencionados, para calcular el caudal medio:

$$x = 189,655828577675 * (323,484) + 0,11402844425965 * (2488,8231) * (323,484) - 10316,6569707508 - 9,79813011014196 * (2488,8231) - 0,169045432414188 * (2488,8231) * (104,4223) - 0,706611323146342 * (323,484)^2$$

Finalmente se obtiene que el caudal medio es:  $x = 577,6879072$

Evaluando las ecuaciones y comparando con los caudales medios, determinados mediante el promedio de caudales pico anuales:

Tabla XXIV. **Caudales medios *versus* caudales determinados por modelos matemáticos**

		Estación/cuenca	Caudal medio	Modelo matemático
Región V	1	CHICHÉ	28,56	28,6974108
	2	CONCUÁ II	577,5548571	577,6879072
	3	PANAJAX	305,8517	305,850484
	4	PUENTE ORELLANA	1 098,903000	1 098,93676
	5	PETAPILLA	352,533140	352,262502
	6	CAMOTÁN	437,94000	437,936
	7	MORALES	1 167,993333	1 167,97604
Región VI	8	CHILASCÓ	13,48424195	13,48424195
	9	MATUCUY	397,4523663	295,163333
	10	TELEMÁN	295,1633333	295,1633333
	11	CAHABONCITO	1 701,973115	1 701,97312
Región VII	12	SAN PEDRO CÁRDENAS	32,74616316	32,7461632
	13	MODESTO MÉNDEZ	347,58	347,577

Fuente: elaboración propia.

### 5.3.1. Error promedio determinado a base de caudales generados por modelo matemático

Por ser determinados a base de caudales generados por modelo matemático, son menores los errores.

Tabla XXV. Error promedio cuenca Camotán

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
437,94	437,936	0,01
579,10	608,36719	5,05
652,90	697,473411	6,83
689,72	741,939268	7,57
713,83	771,058866	8,02
731,59	792,494827	8,33
745,55	809,352457	8,56
782,42	853,879056	9,13
809,70	886,815879	9,52
828,14	909,092943	9,77
920,70	1 020,86075	10,88
Distribución Log Normal		
404,45	374,240128	7,47
580,26	624,953889	7,70
700,74	817,063797	16,60
769,92	933,998064	21,31
818,88	1019,5011	24,50
856,91	1 087,40555	26,90
888,04	1 143,96907	28,82
975,84	1 307,92742	34,03
1 046,32	1 444,14956	38,02
1 096,86	1 544,24014	40,79
1 389,71	2 161,36358	55,53

Continuación de la tabla XXV.

Distribución Gamma		
415,53	395,094035	4,92
572,61	616,603013	7,68
668,27	759,057543	13,59
719,61	837,345119	16,36
754,57	891,270478	18,12
780,98	932,326701	19,38
802,16	965,430657	20,35
859,83	1 056,35923	22,86
904,13	1 126,91098	24,64
934,88	1 176,23172	25,82
1 099,02	1 443,50238	31,34
Distribución Gamma 3P		
NSA	394,551124	NSA
578,24	582,889949	0,80
654,59	709,019613	8,31
693,10	779,493076	12,46
718,47	828,430805	15,31
737,22	865,883338	17,45
752,00	896,194579	19,17
791,25	979,925337	23,85
820,46	1 045,32307	27,41
840,30	1 091,24145	29,86
940,87	1 342,48213	42,68
Distribución Log Pearson III		
NSA	NSA	NSA

Continuación de la tabla XXV.

NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
410,39	404,635624	1,40
558,62	583,631675	4,48
656,76	702,142636	6,91
712,13	769,005519	7,99
750,90	815,821195	8,65
780,77	851,88155	9,11
805,06	881,217666	9,46
872,76	962,96643	10,34
926,23	1 027,5332	10,94
964,07	1 073,23108	11,32
1 175,08	1 328,03584	13,02
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
376,95	338,605424	10,17
550,65	580,141057	5,36
707,70	828,620787	17,09
815,33	1 013,22341	24,27
900,29	1 166,44702	29,56
971,72	1 300,09208	33,79
1 033,99	1 420,03383	37,34
1 229,39	1 815,91256	47,71
1 409,48	2 205,18326	56,45
1 552,68	2 530,13797	62,95
2 663,08	5 445,2783	104,47

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Error promedio cuenca Petapilla**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
352,53	352,262502	0,08
467,97	489,392437	4,58
528,31	561,072685	6,20
558,42	596,842618	6,88
578,14	620,26747	7,29
592,66	637,511327	7,57
604,07	651,072211	7,78
634,23	686,891008	8,30
656,53	713,386572	8,66
671,62	731,307043	8,89
747,31	821,217084	9,89
Distribución Log Normal		
331,46	301,052212	9,17
446,30	502,735374	12,64
521,39	657,27549	26,06
563,46	751,341618	33,34
592,84	820,123332	38,34
615,44	874,748117	42,13
633,81	920,249846	45,19
685,03	1 052,14384	53,59
725,56	1 161,72582	60,11
754,32	1 242,24228	64,68
916,79	1 738,67856	89,65
Distribución Gamma		
338,44	317,827844	6,09
449,39	496,017629	10,38
515,83	610,613174	18,37
551,23	673,590515	22,20
575,24	716,970012	24,64
593,33	749,997114	26,40
607,81	776,627126	27,77
647,14	849,773339	31,31
677,24	906,527702	33,86

Continuación de la tabla XXVI.

698,09	946,203079	35,54
808,79	1 161,20521	43,57
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
329,56	317,391107	3,69
456,07	468,897629	2,81
536,41	570,360865	6,33
580,33	627,052251	8,05
610,50	666,41952	9,16
633,44	696,547684	9,96
651,91	720,931135	10,59
702,54	788,287168	12,21
741,74	840,895455	13,37
769,10	877,833853	14,14
916,90	1 079,94089	17,78
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
315,84	NSA	NSA
436,21	NSA	NSA
531,75	NSA	NSA
591,60	NSA	NSA
636,23	NSA	NSA
672,21	NSA	NSA
702,54	NSA	NSA
792,40	NSA	NSA
869,26	NSA	NSA
927,03	NSA	NSA
1 307,84	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
330,01	325,503442	1,36
451,22	469,4943	4,05
531,47	564,828777	6,28
576,75	618,615684	7,26
608,46	656,275897	7,86
632,87	685,284142	8,28
652,74	708,883168	8,60

Continuación de la tabla XXVI.

708,10	774,644813	9,40
751,82	826,584641	9,94
782,77	863,345658	10,29
955,32	1 068,31977	11,83
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
312,76	272,386376	12,91
427,44	466,686321	9,18
525,66	666,572348	26,81
590,72	815,073331	37,98
641,01	938,331911	46,38
682,64	1 045,8408	53,20
718,50	1 142,32626	58,99
828,68	1 460,78534	76,28
927,53	1 773,92869	91,25
1 004,53	2 035,33394	102,62
1 567,06	4 380,37762	179,53

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Error promedio cuenca Morales**

<b>Distribución Normal</b>		
Original	Modelo	Error %
1 167,99	1 167,97604	0,00
1 452,28	1 622,6497	11,73
1 600,88	1 860,31567	16,21
1 675,03	1 978,91594	18,14
1 723,59	2 056,58434	19,32
1 759,34	2 113,75878	20,14
1 787,45	2 158,72181	20,77
1 861,71	2 277,48408	22,33
1 916,64	2 365,33386	23,41
1 953,79	2 424,75172	24,11

Continuación de la tabla XXVII.

2 140,18	2 722,86115	27,23
<b>Distribución Log Normal</b>		
1 121,64	998,181098	11,01
1 439,03	1 666,89009	15,83
1 639,22	2 179,28965	32,95
1 749,30	2 491,17918	42,41
1 825,37	2 719,23466	48,97
1 883,47	2 900,35084	53,99
1 930,46	3 051,21825	58,06
2 060,28	3 488,53139	69,32
2 161,90	3 851,86592	78,17
2 233,46	4 118,8296	84,41
2 629,85	5 764,83416	119,21
<b>Distribución Gamma</b>		
1 137,04	1 053,80308	7,32
1 432,97	1 644,61646	14,77
1 606,01	2 024,57416	26,06
1 697,20	2 233,38442	31,59
1 758,70	2 377,21526	35,17
1 804,88	2 486,72128	37,78
1 841,73	2 575,01685	39,82
1 941,39	2 817,54344	45,13
2 017,28	3 005,72054	49,00
2 069,67	3 137,26985	51,58
2 345,51	3 850,13975	64,15
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
1 148,43	1 052,35501	8,37
1 445,07	1 554,69627	7,59
1 611,51	1 891,11195	17,35
1 697,54	2 079,08024	22,48
1 754,96	2 209,60798	25,91
1 797,78	2 309,50216	28,46
1 831,79	2 390,34893	30,49
1 923,01	2 613,67736	35,92
1 991,81	2 788,10756	39,98

Continuación de la tabla XXVII.

2 038,98	2 910,58204	42,75
2 283,48	3 580,69643	56,81
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
1 112,52	1 079,2526	2,99
1 411,03	1 556,67461	10,32
1 608,66	1 872,76953	16,42
1 720,17	2 051,10761	19,24
1 798,24	2 175,97536	21,01
1 858,38	2 272,15629	22,27
1 907,30	2 350,40219	23,23
2 043,63	2 568,44421	25,68
2 151,31	2 740,65804	27,39
2 227,52	2 862,54438	28,51
2 652,45	3 542,16498	33,54
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
1 068,40	903,135472	15,47
1 387,93	1 547,36436	11,49
1 650,44	2 210,1147	33,91
1 819,90	2 702,49066	48,50
1 948,80	3 111,17188	59,65
2 054,28	3 467,63279	68,80
2 144,28	3 787,54394	76,63
2 416,45	4 843,43998	100,44

Continuación de la tabla XXVII.

2 655,62	5 881,71093	121,48
2 839,07	6 748,43693	137,70
4 120,34	14 523,7602	252,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Error promedio cuenca Puente Orellana**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
1 098,90	1 098,93676	0,00
1 473,42	1 526,73457	3,62
1 669,19	1 750,35206	4,86
1 766,89	1 861,94184	5,38
1 830,86	1 935,01925	5,69
1 877,96	1 988,8141	5,90
1 914,99	2 031,11935	6,06
2 012,82	2 142,86157	6,46
2 085,18	2 225,51854	6,73
2 134,13	2 281,42419	6,90
2 379,68	2 561,91231	7,66
Distribución Log Normal		
996,59	939,178426	5,76
1 497,95	1 568,3599	4,70
1 853,57	2 050,47143	10,62
2 061,45	2 343,92511	13,70
2 210,07	2 558,50019	15,77
2 326,27	2 728,91056	17,31
2 421,93	2 870,86016	18,54
2 693,95	3 282,32364	21,84
2 914,64	3 624,18141	24,34
3 074,07	3 875,3648	26,07
4 015,61	5 424,07373	35,07

Continuación de tabla XXVIII.

Distribución Gamma		
1 030,37	991,512577	3,77
1 468,22	1 547,40287	5,39
1 738,84	1 904,9012	9,55
1 885,07	2 101,36865	11,47
1 984,95	2 236,69762	12,68
2 060,58	2 339,73072	13,55
2 121,32	2 422,80712	14,21
2 287,13	2 650,99792	15,91
2 414,86	2 828,05183	17,11
2 503,72	2 951,82524	17,90
2 980,07	3 622,55727	21,56
Distribución Gamma 3P		
NSA	990,15011	NSA
NSA	1 462,79788	NSA
NSA	1 779,32796	NSA
NSA	1 956,18542	NSA
NSA	2 078,99763	NSA
NSA	2 172,98705	NSA
NSA	2 249,05495	NSA
NSA	2 459,1824	NSA
NSA	2 623,302	NSA
NSA	2 738,53698	NSA
NSA	3 369,04079	NSA
Distribución Log Pearson III		
NSA	NSA	NSA

Continuación de la tabla XXVIII.

NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
1 025,82	1 015,45778	1,01
1 419,08	1 464,65929	3,21
1 679,45	1 762,06977	4,92
1 826,35	1 929,86625	5,67
1 929,21	2 047,35305	6,12
2 008,43	2 137,84871	6,44
2 072,88	2 211,46948	6,69
2 252,49	2 416,62299	7,29
2 394,34	2 578,65723	7,70
2 494,74	2 693,33884	7,96
3 054,56	3 332,78694	9,11
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
920,41	849,750964	7,68
1 411,94	1 455,89937	3,11
1 874,37	2 079,4744	10,94
2 199,24	2 542,74593	15,62
2 459,68	2 927,26993	19,01
2 681,12	3 262,66036	21,69
2 875,89	3 563,66151	23,91
3 496,59	4 557,14333	30,33
4 080,18	5 534,04189	35,63
4 551,17	6 349,53556	39,51
8 368,80	13 665,258	63,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Error promedio cuenca Chiché**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
28,56	28,6974108	0,48
37,09	39,8688358	7,51
41,54	45,7083375	10,03
43,77	48,6223703	11,10
45,22	50,5306989	11,74
46,29	51,9354867	12,19
47,14	53,0402374	12,52
49,36	55,9582509	13,36
51,01	58,116738	13,93
52,12	59,5766468	14,30
57,71	66,9012567	15,92
Distribución Log Normal		
26,79	24,5255142	8,45
36,98	40,9558312	10,76
43,76	53,5455936	22,36
47,60	61,2087832	28,60
50,29	66,8121531	32,85
52,37	71,2622148	36,07
54,07	74,9690579	38,66
58,81	85,7139315	45,74
62,59	94,6411355	51,20
65,28	101,200488	55,01
80,64	141,643157	75,64
Distribución Gamma		
27,38	25,8921576	5,42
36,54	40,4085635	10,59
42,04	49,7442022	18,33
44,97	54,8747131	22,02
46,96	58,4086664	24,37
48,46	61,0992518	26,07
49,66	63,2686919	27,39
52,93	69,22762	30,80
55,43	73,8511699	33,24

Continuación de la tabla XXIX.

57,16	77,0833635	34,86
66,36	94,598723	42,55
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
NSA	25,8565784	NSA
NSA	38,1992061	NSA
NSA	46,4650082	NSA
43,93	51,0834278	16,28
45,45	54,290521	19,45
46,57	56,7449415	21,85
47,45	58,7313633	23,76
49,80	64,2185886	28,96
51,54	68,5043744	32,92
52,72	71,5135974	35,64
58,70	87,9784455	49,87
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
26,90	26,5174577	1,41
35,85	38,2478144	6,69
41,78	46,0143313	10,15
45,12	50,3961345	11,70
47,46	53,4641607	12,65
49,26	55,8273459	13,32
50,73	57,7498638	13,84

Continuación de la tabla XXIX.

54,82	63,1072008	15,12
58,05	67,33853	16,00
60,33	70,3333023	16,57
73,08	87,0317198	19,10
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
25,16	22,1902237	11,79
35,29	38,0190597	7,74
44,15	54,3029713	23,00
50,10	66,4007497	32,55
54,73	76,4421311	39,67
58,59	85,2004486	45,41
61,93	93,0607312	50,26
72,28	119,004313	64,63
81,67	144,514843	76,96
89,04	165,810479	86,23
144,13	356,851766	147,59

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXX. Error promedio cuenca Panajax**

<b>Distribución Normal</b>		
Original	Modelo	Error %
305,85	305,850484	0,00
542,90	424,912993	21,73
666,80	487,149077	26,94
728,64	518,206176	28,88
769,13	538,544708	29,98
798,94	553,516617	30,72
822,38	565,290799	31,26
884,29	596,390324	32,56
930,10	619,39499	33,41
961,07	634,954366	33,93

Continuación de la tabla XXX.

1 116,49	713,018394	36,14
<b>Distribución Log Normal</b>		
212,43	212,43	212,43
471,77	471,77	471,77
715,90	715,90	715,90
881,54	881,54	881,54
1 010,26	1 010,26	1 010,26
1 116,87	1 116,87	1 116,87
1 208,57	1 208,57	1 208,57
1 488,61	1 488,61	1 488,61
1 736,72	1 736,72	1 736,72
1 927,58	1 927,58	1 927,58
3 252,40	3 252,40	3 252,40
<b>Distribución Gamma</b>		
241,92	275,952733	14,07
472,61	430,665289	8,88
635,52	530,162405	16,58
728,44	584,842225	19,71
793,61	622,506297	21,56
843,79	651,181944	22,83
884,59	674,303344	23,77
998,03	737,812246	26,07
1 087,32	787,08899	27,61
1 150,32	821,536975	28,58
1 498,78	1 008,2117	32,73
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
222,45	275,573538	23,88
481,71	407,118459	15,48
674,69	495,213501	26,60
786,92	544,435567	30,81
866,34	578,616038	33,21
927,84	604,774694	34,82
978,04	625,945526	36,00
1 118,44	684,427127	38,81
1 229,68	730,104059	40,63

Continuación de la tabla XXX.

1 308,51	762,175673	41,75
1 748,43	937,654284	46,37
Distribución Log Pearson III		
NSA	NSA	NSA
Distribución Gumbel		
259,60	282,617039	8,87
508,50	407,636517	19,84
673,30	490,410289	27,16
766,27	537,110551	29,91
831,37	569,808878	31,46
881,52	594,995169	32,50
922,31	615,484928	33,27
1 035,99	672,582208	35,08
1 125,77	717,678753	36,25
1 189,32	749,596356	36,97
1 543,64	927,564297	39,91
Distribución Log Gumbel		
181,80	236,498363	30,08
420,19	405,1985	3,57
731,72	578,74873	20,91
1 000,59	707,684104	29,27
1 245,72	814,702866	34,60
1 474,75	908,047024	38,43
1 691,81	991,82013	41,38
2 480,40	1 268,32093	48,87

Continuación de la tabla XXX.

3 355,58	1 540,20637	54,10
4 155,82	1 767,17041	57,48
13 696,17	3 803,24505	72,23

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Error promedio cuenca Telemán**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
295,16	13,484242	95,43
433,44	19,108024	95,59
505,72	22,0476745	95,64
541,79	23,5146213	95,66
565,42	24,4752887	95,67
582,80	25,1824697	95,68
596,48	25,7386098	95,68
632,60	27,2075605	95,70
659,32	28,2941597	95,71
677,39	29,0290891	95,71
768,05	32,7163546	95,74
Distribución Log Normal		
271,92	12,0091699	95,58
371,12	18,2901179	95,07
436,64	22,7886643	94,78
473,54	25,4317671	94,63
499,38	27,3266487	94,53
519,29	28,811179	94,45
535,51	30,035075	94,39
580,84	33,5236648	94,23
616,81	36,3624012	94,10
642,40	38,4174638	94,02
787,71	50,6196708	93,57

Continuación de la tabla XXXI.

Distribución Gamma		
279,61	12,4951201	95,53
387,16	18,3514973	95,26
452,80	22,0198351	95,14
488,07	24,0134436	95,08
512,09	25,3790533	95,04
530,25	26,4150337	95,02
544,81	27,2481772	95,00
584,48	29,5275085	94,95
614,96	31,2877464	94,91
636,13	32,5144087	94,89
749,18	39,1151901	94,78
Distribución Gamma 3P		
228,80	12,0653066	94,73
358,26	18,2777903	94,90
484,18	22,4301377	95,37
564,08	24,7483967	95,61
622,80	26,3576173	95,77
669,30	27,5888729	95,88
707,84	28,5851855	95,96
818,07	31,3366477	96,17
907,53	33,4850212	96,31
971,88	34,99318	96,40
1 341,97	43,2414277	96,78
Distribución Log Pearson III		
237,25	NSA	NSA
326,80	NSA	NSA
429,48	NSA	NSA
507,26	NSA	NSA
572,07	NSA	NSA
628,63	NSA	NSA
679,37	NSA	NSA
846,41	NSA	NSA
1 009,89	NSA	NSA
1 145,77	NSA	NSA

Continuación de la tabla XXXI.

2 347,15	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
268,18	12,3868366	95,38
413,38	18,2919893	95,57
509,51	22,2017142	95,64
563,75	24,4075479	95,67
601,73	25,9520161	95,69
630,98	27,1416619	95,70
654,77	28,1094724	95,71
721,09	30,8063974	95,73
773,46	32,9364813	95,74
810,53	34,444073	95,75
1 017,22	42,850186	95,79
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
255,90	11,0626929	95,68
354,74	17,2070115	95,15
440,37	23,0527775	94,77
497,51	27,1885242	94,54
541,87	30,5184022	94,37
578,72	33,3588139	94,24
610,54	35,8634855	94,13
708,75	43,8802686	93,81
797,36	51,4601112	93,55
866,69	57,6034963	93,35
1 379,66	108,029852	92,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Error promedio cuenca Chilascó**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
13,48	397,452366	2 847,53
19,32	563,21515	2 815,63
22,37	649,862295	2 805,58
23,89	693,101021	2 801,52
24,88	721,417002	2 799,14
25,62	742,261391	2 797,50
26,19	758,653799	2 796,27
27,72	801,951592	2 793,28
28,84	833,979452	2 791,27
29,61	855,641733	2 790,00
33,43	964,325068	2 784,50
Distribución Log Normal		
11,41	353,974143	3 001,68
19,94	539,107106	2 603,51
26,70	671,703207	2 416,15
30,88	749,60951	2 327,58
33,97	805,461755	2 271,26
36,44	849,218764	2 230,65
38,50	885,293492	2 199,20
44,55	988,120797	2 118,15
49,62	1 071,79347	2 060,04
53,37	1 132,3671	2 021,60
76,96	1 492,03107	1 838,84
Distribución Gamma		
12,09	368,297681	2 946,28
19,12	540,916281	2 729,52
23,66	649,041718	2 643,04
26,16	707,803971	2 605,19
27,89	748,055754	2 582,07
29,21	778,59161	2 565,84
30,27	803,148783	2 553,52
33,18	870,332805	2 522,72
35,45	922,216384	2 501,47

Continuación de la tabla XXXII.

37,03	958,372648	2 487,78
45,63	1 152,9328	2 426,46
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
12,93	355,628792	2 651,42
19,09	538,743745	2 721,47
22,65	661,135518	2 819,18
24,51	729,46695	2 876,45
25,76	776,899242	2 916,19
26,69	813,190897	2 946,37
27,44	842,557533	2 970,59
29,45	923,657766	3 036,28
30,98	986,981764	3 086,18
32,03	1 031,43523	3 120,41
37,53	1 274,55498	3 295,86
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
12,35	365,105992	2 857,27
18,47	539,162265	2 819,01
22,53	654,402662	2 805,13
24,81	719,420321	2 799,30
26,42	764,944019	2 795,82
27,65	800,009211	2 793,41
28,65	828,535734	2 791,60
31,45	908,028466	2 787,18

Continuación de la tabla XXXII.

33,66	970,813375	2 784,21
35,22	1 015,25012	2 782,33
43,94	1 263,02301	2 774,31
Distribución Log Gumbel		
10,23	326,076431	3 085,96
18,39	507,182194	2 657,95
27,11	679,488028	2 406,70
33,74	801,390491	2 275,19
39,33	899,539717	2 187,24
44,26	983,261762	2 121,72
48,72	1 057,08776	2 069,80
63,67	1 293,38502	1 931,45
78,65	1 516,80332	1 828,44
91,35	1 697,88157	1 758,70
210,37	3 184,21463	1 413,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Error promedio cuenca Matucuy**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
397,45	295,163333	25,74
582,04	418,265119	28,14
678,52	482,612603	28,87
726,67	514,723335	29,17
758,20	535,751866	29,34
781,41	551,231707	29,46
799,67	563,405337	29,55
847,88	595,559934	29,76
883,55	619,345048	29,90
907,67	635,432287	29,99
1 028,69	716,144689	30,38

Continuación de tabla XXXIII.

Distribución Log Normal		
346,36	346,36	346,36
543,08	543,08	543,08
687,02	687,02	687,02
772,54	772,54	772,54
834,23	834,23	834,23
882,77	882,77	882,77
922,92	922,92	922,92
1 037,97	1 037,97	1 037,97
1 132,21	1 132,21	1 132,21
1 200,76	1 200,76	1 200,76
1 612,60	1 612,60	1 612,60
Distribución Gamma		
363,14	363,14	363,14
551,35	551,35	551,35
670,96	670,96	670,96
736,36	736,36	736,36
781,30	781,30	781,30
815,46	815,46	815,46
842,97	596,449014	29,24
918,41	646,342439	29,62
976,81	684,87317	29,89
1 017,59	711,724195	30,06
1 237,87	856,212008	30,83
Distribución Gamma 3P		
363,00	363,00	363,00
564,70	564,70	564,70
691,31	691,31	691,31
760,18	760,18	760,18
807,38	807,38	807,38
843,19	843,19	843,19
872,00	872,00	872,00
950,84	950,84	950,84
1 011,75	1 011,75	1 011,75
1 054,20	1 054,20	1 054,20

Continuación de tabla XXXIII.

1 282,80	946,533293	26,21
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
341,07	341,07	341,07
540,33	540,33	540,33
693,31	693,31	693,31
786,95	786,95	786,95
855,74	855,74	855,74
910,56	910,56	910,56
956,38	956,38	956,38
1 089,95	1 089,95	1 089,95
1 201,81	1 201,81	1 201,81
1 284,52	1 284,52	1 284,52
1 804,42	1 804,42	1 804,42
<b>Distribución Gumbel</b>		
361,43	361,43	361,43
555,25	555,25	555,25
683,58	683,58	683,58
755,98	755,98	755,98
806,67	806,67	806,67
845,72	845,72	845,72
877,49	877,49	877,49
966,00	966,00	966,00
1 035,92	1 035,92	1 035,92
1 085,40	1 085,40	1 085,40
1 361,31	1 361,31	1 361,31
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
317,26	242,156833	23,67
508,77	376,652902	25,97
695,53	504,613806	27,45
829,72	595,143239	28,27
938,81	668,032609	28,84
1 032,52	730,207803	29,28
1 115,61	785,033817	29,63
1 384,16	960,517202	30,61
1 641,24	1 126,43618	31,37

Continuación de la tabla XXXIII.

1 851,55	1 260,91181	31,90
3 626,67	2 364,71961	34,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Error promedio cuenca Cahaboncito**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
1 701,97	1 701,97312	0,00
2 324,83	2 411,80359	3,74
2 650,41	2 782,84456	5,00
2 812,88	2 968,00171	5,51
2 919,27	3 089,25659	5,82
2 997,60	3 178,51657	6,04
3 059,19	3 248,71225	6,20
3 221,88	3 434,12234	6,59
3 342,23	3 571,27225	6,85
3 423,62	3 664,03461	7,02
3 832,00	4 129,43909	7,76
Distribución Log Normal		
1 581,61	1 515,79039	4,16
2 166,65	2 308,56797	6,55
2 554,12	2 876,37186	12,62
2 772,66	3 209,98273	15,77
2 925,81	3 449,15358	17,89
3 043,93	3 636,53013	19,47
3 140,16	3 791,00956	20,73
3 409,23	4 231,33732	24,11
3 622,99	4 589,64097	26,68
3 775,12	4 849,02977	28,45
4 640,37	6 389,18517	37,69

Continuación de la tabla XXXIV.

Distribución Gamma		
1 621,46	1 577,12673	2,73
2 207,11	2 316,31523	4,95
2 561,78	2 779,33068	8,49
2 751,71	3 030,96278	10,15
2 880,85	3 203,32923	11,19
2 978,33	3 334,09007	11,94
3 056,45	3 439,24895	12,52
3 269,01	3 726,94481	14,01
3 432,09	3 949,12102	15,06
3 545,23	4 103,9496	15,76
4 148,01	4 937,09636	19,02
Distribución Gamma 3P		
1 489,56	1 522,87593	2,24
2 172,91	2 307,01198	6,17
2 674,96	2 831,11883	5,84
2 965,57	3 123,72813	5,33
3 170,77	3 326,843	4,92
3 329,46	3 482,25136	4,59
3 458,86	3 608,00536	4,31
3 820,29	3 955,29331	3,53
4 106,19	4 226,45975	2,93
4 308,60	4 416,81867	2,51
5 435,80	5 457,90766	0,41
Distribución Log Pearson III		
1 514,71	NSA	NSA
2 125,35	NSA	NSA
2 603,62	NSA	NSA
2 901,07	NSA	NSA
3 121,93	NSA	NSA
3 299,45	NSA	NSA
3 448,78	NSA	NSA
3 889,34	NSA	NSA
4 264,28	NSA	NSA

Continuación de la tabla XXXIV.

4 545,03	NSA	NSA
6 376,20	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
1 580,43	1 563,45926	1,07
2 234,45	2 308,80417	3,33
2 667,47	2 802,28735	5,05
2 911,77	3 080,70639	5,80
3 082,83	3 275,64827	6,25
3 214,58	3 425,80466	6,57
3 321,77	3 547,96112	6,81
3 620,47	3 888,36542	7,40
3 856,38	4 157,22337	7,80
4 023,35	4 347,5107	8,06
4 954,36	5 408,52536	9,17
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
1 487,39	1 396,32662	6,12
2 069,93	2 171,8589	4,92
2 576,23	2 909,70807	12,94
2 914,74	3 431,71959	17,74
3 177,89	3 852,01484	21,21
3 396,68	4 210,52993	23,96
3 585,74	4 526,66812	26,24
4 169,94	5 538,54178	32,82
4 697,89	6 495,26507	38,26
5 111,48	7 270,67954	42,24
8 182,11	13 635,4646	66,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Error promedio cuenca San Pedro Cárdenas**

Distribución Normal		
Original	Modelo	Error %
32,75	32,7461632	0,00
40,72	42,2893306	3,85
44,89	47,2777134	5,32
46,97	49,76702	5,96
48,33	51,3972059	6,34
49,33	52,5972431	6,62
50,12	53,5409742	6,82
52,20	56,0336814	7,33
53,75	57,8775647	7,69
54,79	59,1246889	7,92
60,02	65,3817222	8,94
Distribución Log Normal		
31,47	30,8859584	1,86
40,37	41,5852656	3,00
45,99	48,5806495	5,64
49,07	52,4999773	6,99
51,20	55,2364383	7,87
52,83	57,3415769	8,53
54,15	59,0533014	9,05
57,79	63,8242927	10,44
60,64	67,5997699	11,48
62,64	70,2791601	12,19
73,75	85,4128339	15,81
Distribución Gamma		
31,90	31,502889	1,23
40,10	41,532684	3,56
44,90	47,519538	5,84
47,42	50,704873	6,92
49,13	52,8633898	7,61
50,41	54,489367	8,10
51,43	55,7902532	8,49
54,18	59,3209693	9,48
56,28	62,0217486	10,20

Continuación de la tabla XXXV.

57,73	63,8917375	10,67
65,36	73,8080874	12,93
<b>Distribución Gamma 3P</b>		
31,98	31,499057	1,50
40,41	41,7433726	3,29
45,28	47,8437896	5,67
47,82	51,0860399	6,83
49,53	53,2819216	7,57
50,81	54,9354419	8,12
51,83	56,2580096	8,54
54,58	59,8460746	9,64
56,67	62,5893439	10,44
58,11	64,4881011	10,97
65,65	74,5490903	13,56
<b>Distribución Log Pearson III</b>		
NSA	NSA	NSA
<b>Distribución Gumbel</b>		
31,19	30,8839426	0,98
39,56	40,9045764	3,39
45,11	47,5391079	5,39
48,23	51,2822546	6,32
50,42	53,9031099	6,90
52,11	55,9218561	7,31
53,48	57,5641632	7,63
57,31	62,1406576	8,43

Continuación de la tabla XXXV.

60,33	65,7552621	9,00
62,47	68,3135404	9,36
74,39	82,5781302	11,01
<b>Distribución Log Gumbel</b>		
29,98	29,144302	2,79
38,94	39,8286095	2,28
46,30	48,9780636	5,78
51,05	55,0388892	7,81
54,66	59,7236208	9,26
57,62	63,6022265	10,38
60,14	66,942657	11,30
67,77	77,206057	13,92
74,48	86,4130728	16,03
79,62	93,585564	17,54
115,53	145,981379	26,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Error promedio cuenca Modesto Méndez**

<b>Distribución Normal</b>		
Original	Modelo	Error %
347,58	347,577	0,00
466,51	448,870868	3,78
528,69	501,818967	5,08
559,71	528,24117	5,62
580,03	545,544422	5,95
594,98	558,281954	6,17
606,75	568,298982	6,34
637,81	594,757278	6,75
660,79	614,328775	7,03
676,34	627,566103	7,21
754,32	693,980017	8,00

Continuación de la tabla XXXVI.

Distribución Log Normal		
321,72	327,832263	1,90
455,69	441,397723	3,14
546,64	515,648699	5,67
598,60	557,249547	6,91
635,28	586,295116	7,71
663,71	608,63965	8,30
686,96	626,808376	8,76
752,35	677,449021	9,96
804,70	717,523	10,83
842,16	745,962802	11,42
1 058,09	906,595879	14,32
Distribución Gamma		
330,28	334,380538	1,24
453,14	440,839607	2,72
527,82	504,38593	4,44
567,87	538,195805	5,22
595,12	561,106911	5,72
615,70	578,36549	6,06
632,20	592,173463	6,33
677,13	629,649479	7,01
711,62	658,31631	7,49
735,57	678,164899	7,80
863,27	783,419831	9,25
Distribución Gamma 3P		
330,12	334,339864	1,28
458,55	443,075915	3,37
536,20	507,82746	5,29
577,75	542,241618	6,15
605,99	565,549324	6,67
627,30	583,100255	7,05
644,38	597,138361	7,33
690,83	635,223093	8,05
726,45	664,340927	8,55
751,16	684,494871	8,88

Continuación de la tabla XXXVI.

882,74	791,285045	10,36
Distribución Log Pearson III		
NSA	NSA	NSA
Distribución Gumbel		
324,37	327,810866	1,06
449,26	434,172696	3,36
531,94	504,593483	5,14
578,59	544,324295	5,92
611,26	572,142792	6,40
636,42	593,570333	6,73
656,89	611,002243	6,99
713,92	659,578444	7,61
758,97	697,944874	8,04
790,86	725,099161	8,31
968,64	876,507536	9,51
Distribución Log Gumbel		
300,59	309,345831	2,91
433,24	422,75208	2,42
551,88	519,866964	5,80
632,62	584,198274	7,65
696,09	633,923335	8,93
749,29	675,091949	9,90
795,55	710,548219	10,68
940,10	819,486837	12,83
1 072,61	917,212696	14,49

Continuación de la tabla XXXVI.

1 177,53	993,343538	15,64
1 981,36	1 549,48748	21,80

Fuente: elaboración propia.

Comparación de error promedio con base en el análisis regional y error promedio por modelos matemáticos:

Tabla XXXVII. **Error por medio de modelos matemáticos**

ERROR PROMEDIO DE LA REGIÓN V	26,49 %
ERROR PROMEDIO DE LA REGIÓN VI	6,83 %
ERROR PROMEDIO DE LA REGIÓN VII	7,50 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Error por medio de análisis regional**

ERROR PROMEDIO DE LA REGIÓN V	29,56 %
ERROR PROMEDIO DE LA REGIÓN VI	10,20 %
ERROR PROMEDIO DE LA REGIÓN VII	7,57 %

Fuente: elaboración propia.



## 6. DISCUSIÓN

En comparación de métodos con mayor grado de exactitud, el método por modelos matemáticos presenta un porcentaje menor de error, esto se debe al análisis de regresiones a través del software Eureka, el cual genera los modelos con mayor grado de exactitud. En cambio, en el método de análisis regional no se presentan datos suficientes de las cuencas de la vertiente; dando resultados menos precisos, pero no se puede descartar porque es un método muy exacto, la desventaja es que no todas las estaciones cuentan con la información necesaria.

Es por ello que se trabajó con ambos métodos, los cuales son muy certeros, siempre y cuando se tengan los datos suficientes para generar menores errores.



## CONCLUSIONES

1. Se determinaron varios modelos de regionalización de crecidas para la vertiente del mar Caribe, con base en un análisis de regresiones por medio del software Eureka.
2. Se establecieron tres regiones de comportamiento homogéneo ante las crecidas: V, VI, y VII. Asimismo, tres modelos matemáticos para su análisis.
3. El modelo de regionalización más exacto es el utilizado para la región V, ya que existen más estaciones, por ello más información y mejores resultados.
4. Se determinaron los parámetros morfométricos principales de todas las cuencas.
5. Las cuencas en las zonas homogéneas, que se determinaron mediante el método de los trazos multidimensionales, aplican para el desarrollo de modelos matemáticos para análisis de crecidas.
6. Se determinó que la distribución de probabilidad que se ajusta a todas las regiones homogéneas es la distribución normal.



## RECOMENDACIONES

1. Recopilar más información para obtener mejores resultados, ya que algunas estaciones cuentan con muy poca información.
2. Tener en cuenta el buen manejo del software para el análisis de los modelos de regionalización de crecidas, generar el modelo con las propiedades morfométricas correctas para tener menores errores.
3. Valuar algunas propiedades morfométricas, ya que no todas son necesarias para el análisis de regresiones.
4. Tomar en cuenta que los modelos de regionalización, son muy exactos, ya que han sido generados con el software Eureka, herramienta que no existía en el 2002, cuando se hizo el último estudio.
5. Considerar que el modelo matemático para la región VII es el más simple, ya que no se tiene la información completa, ni las estaciones suficientes para generar un modelo más exacto.

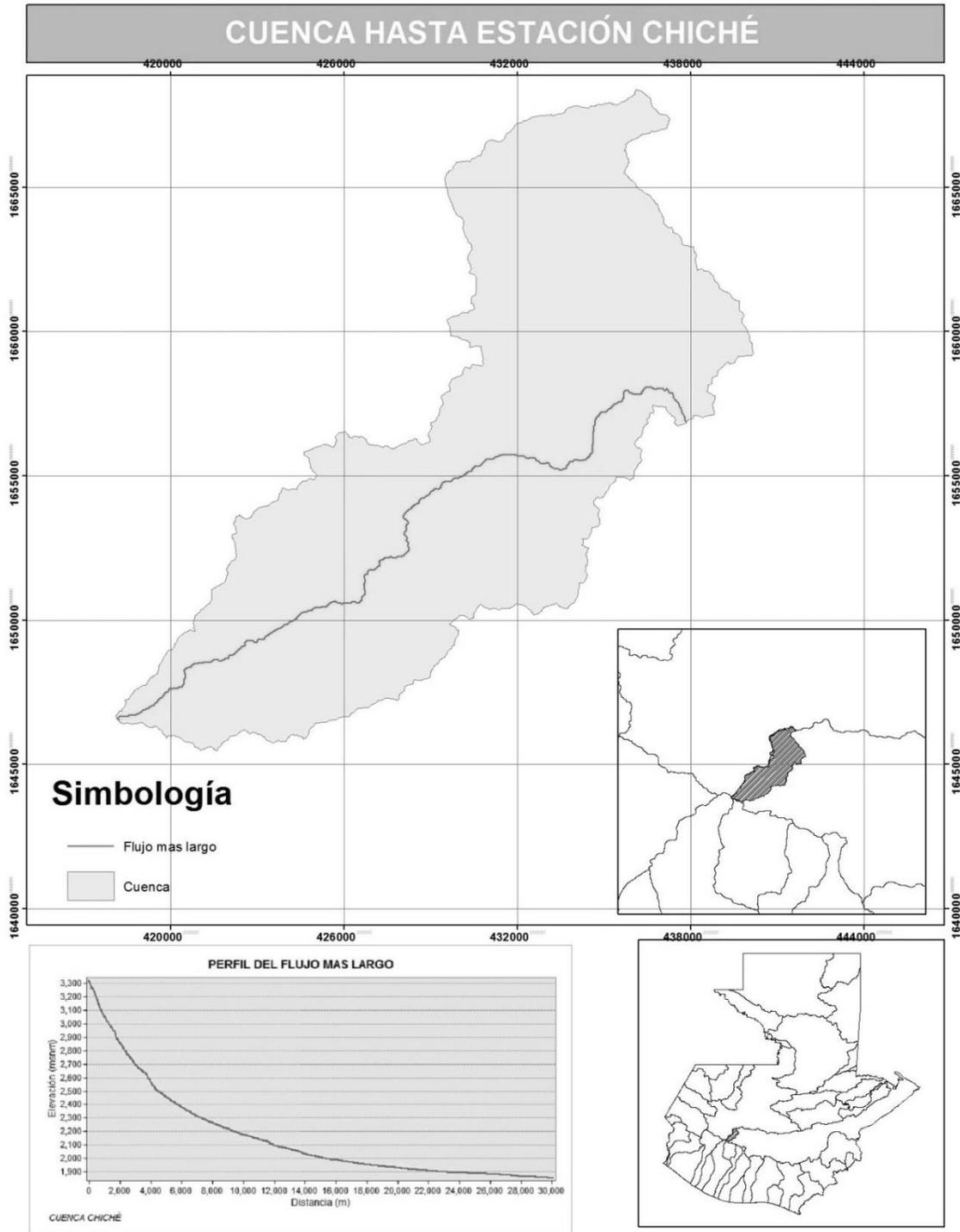


## BIBLIOGRAFÍA

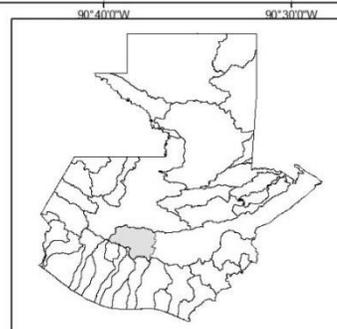
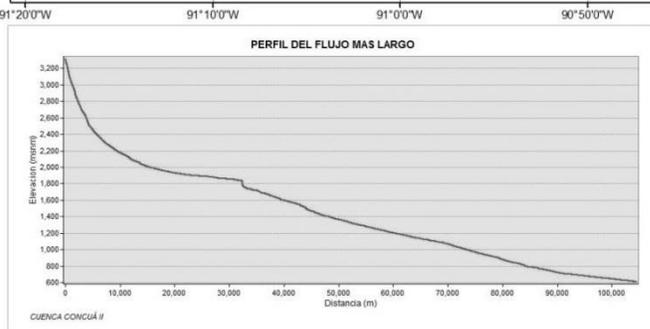
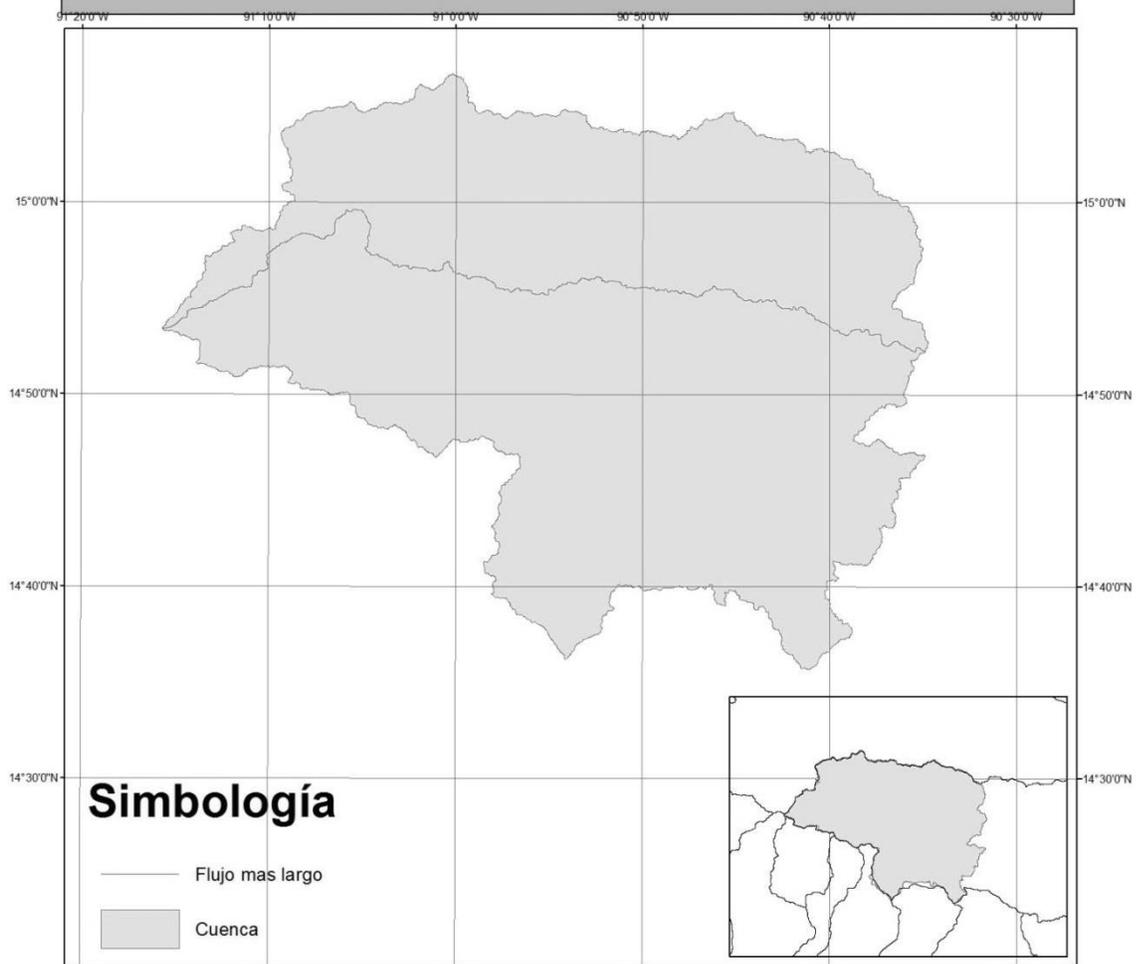
1. AGUILERA SIERRA, Elvin Geovany. *Análisis regional de crecidas máximas para Honduras*. Trabajo de graduación de Maestría en Ing. Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 54 p.
2. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. *Evaluación hidrológica de las crecidas provocadas por el paso del Huracán Mitch en Guatemala*. [en línea]. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/guatemala21/4infcrecmi.pdf>>. [Consulta: junio de 2014].
3. Insivumeh. *Propiedades morfométricas de la cuenca*. [en línea]. <<http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/folletos.htm>>. [Consulta: junio 2014].
4. \_\_\_\_\_. *Ríos de Guatemala*. [en línea]. <[http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios\\_de\\_guatemala.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios_de_guatemala.htm)>. [Consulta: mayo de 2014].
5. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. [en línea]. <[http://fineans.usac.edu.gt/wiki/index.php/CUENCAS\\_HIDROGRAFICAS\\_DE\\_GUATEMALA](http://fineans.usac.edu.gt/wiki/index.php/CUENCAS_HIDROGRAFICAS_DE_GUATEMALA)>. [Consulta: mayo de 2014].



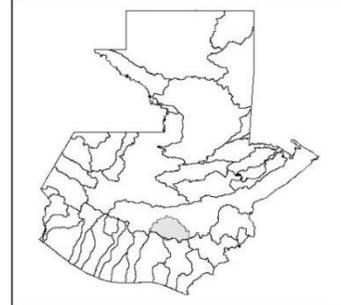
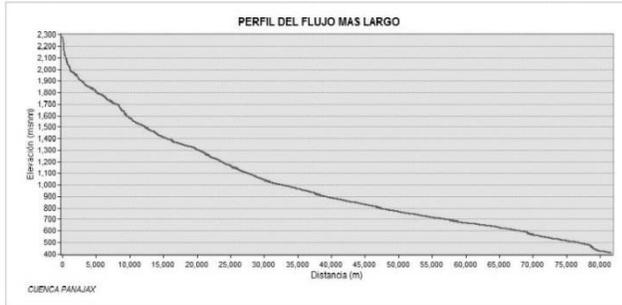
# ANEXOS



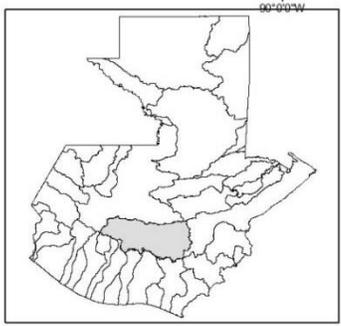
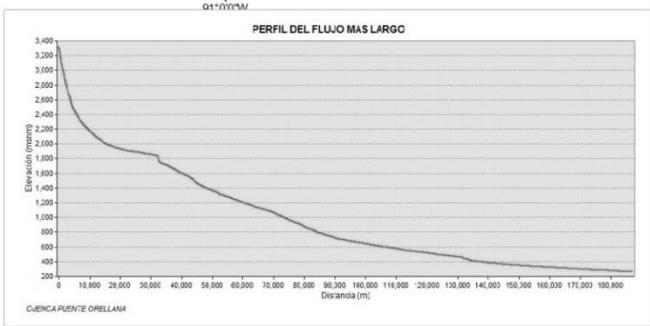
# CUENCA HASTA ESTACIÓN CONCUÁ II



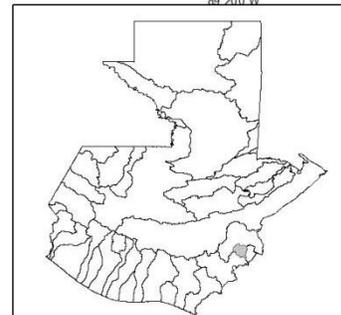
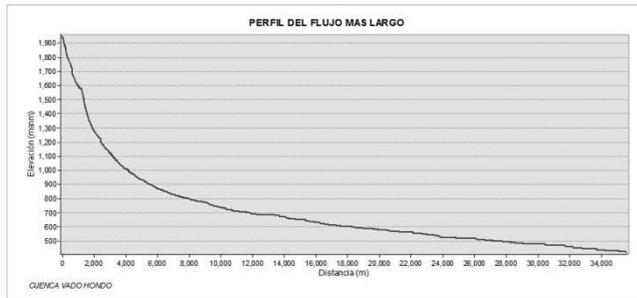
# CUENCA HASTA ESTACIÓN PANAJAX

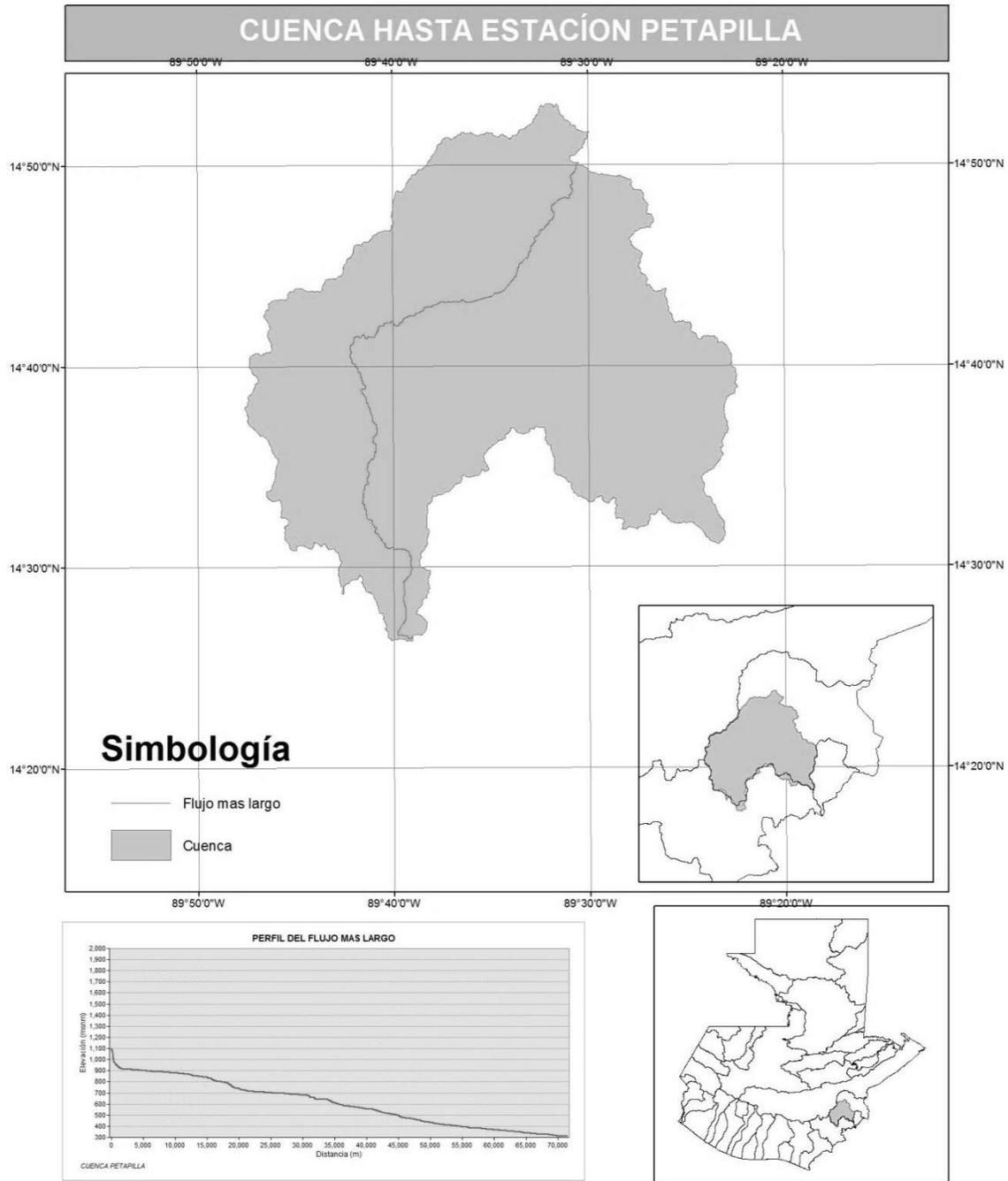


# CUENCA HASTA ESTACIÓN PUENTE ORELLANA

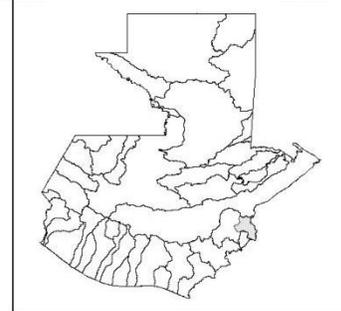
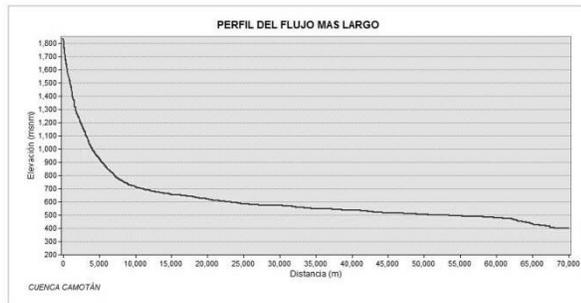


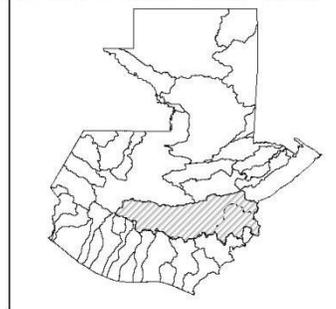
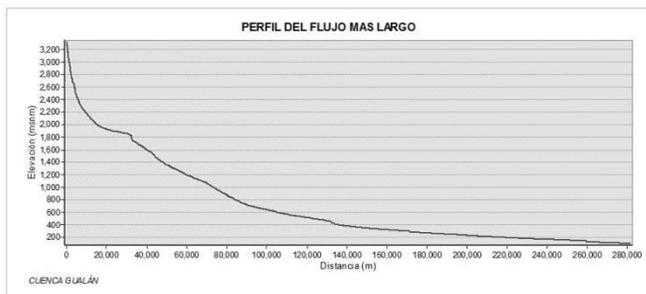
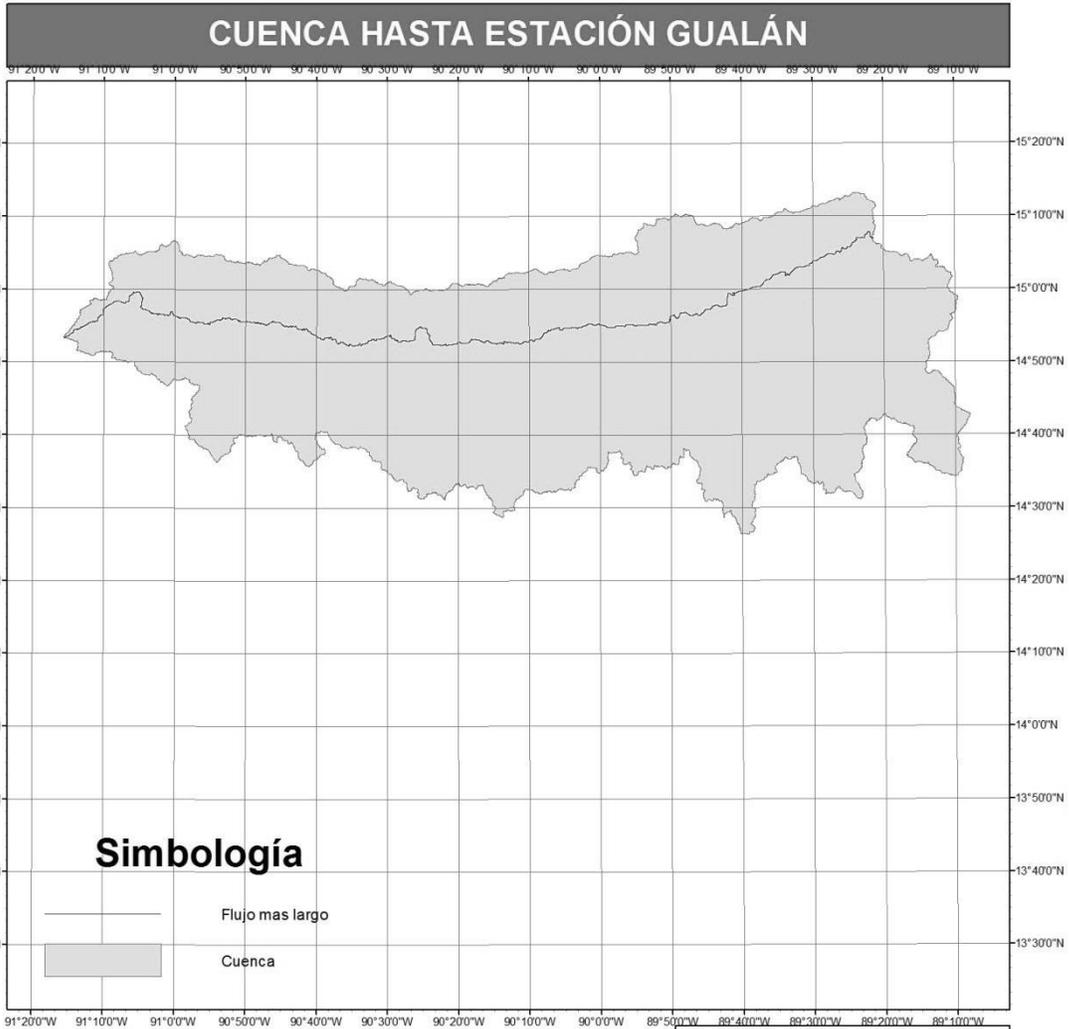
# CUENCA VADO HONDO

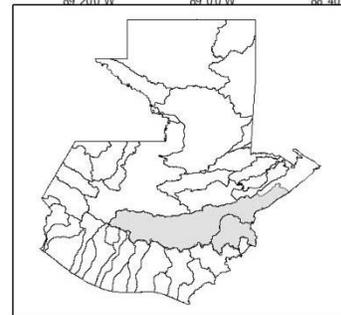
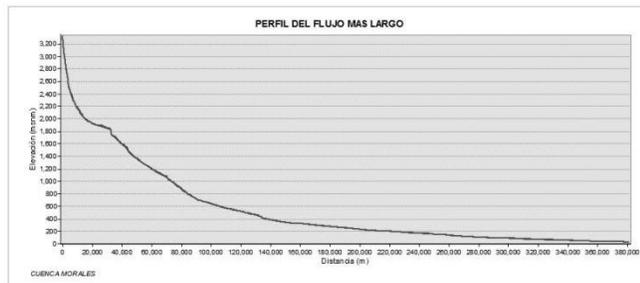
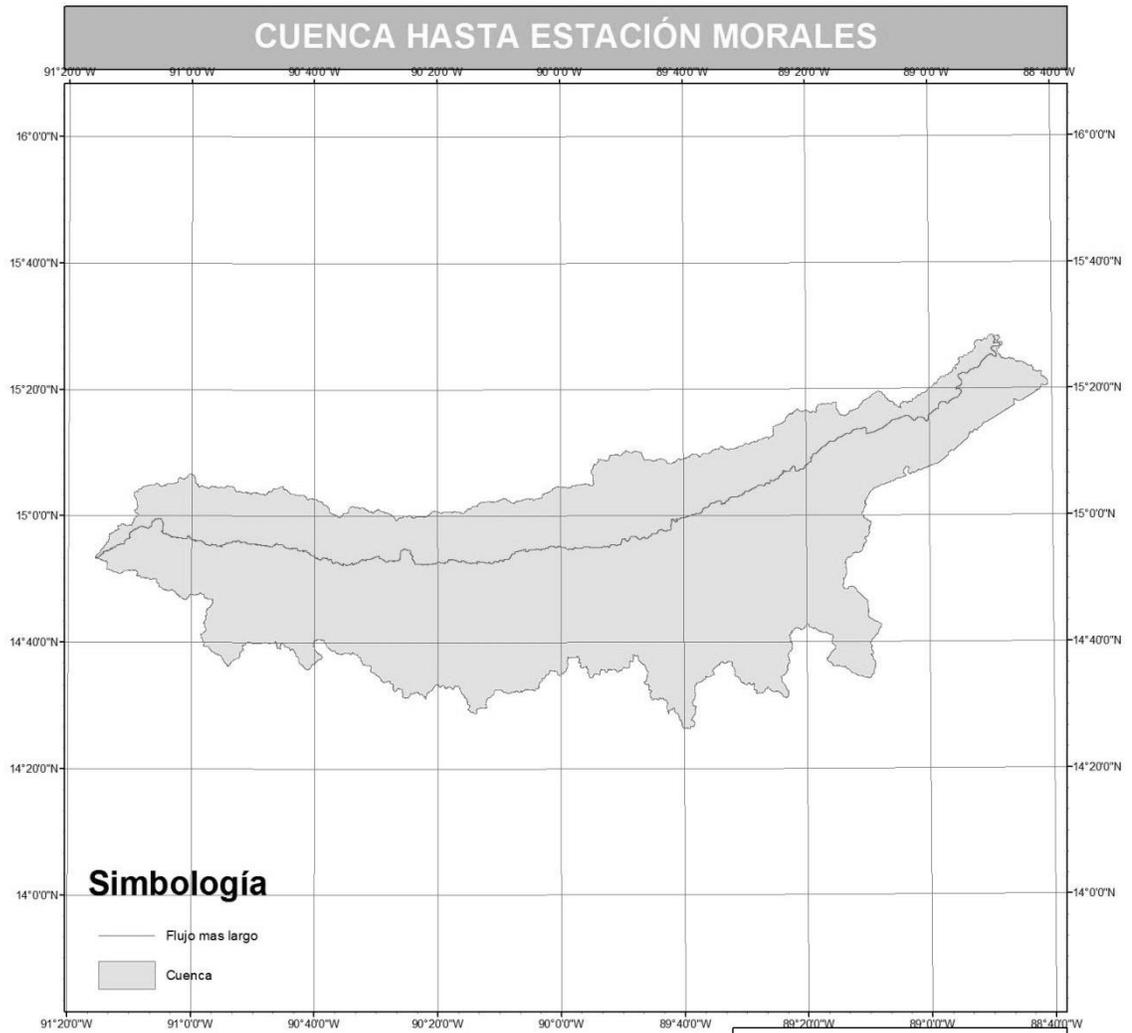




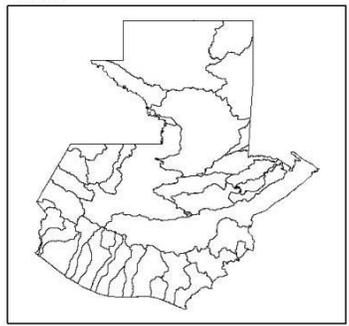
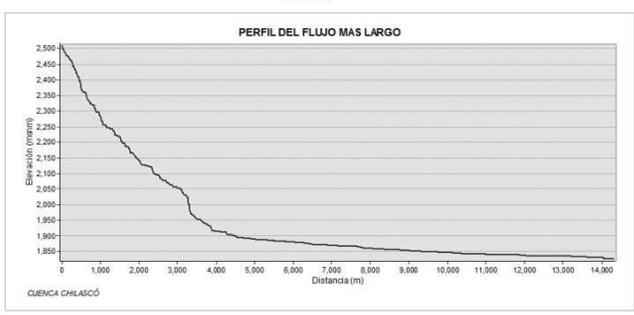
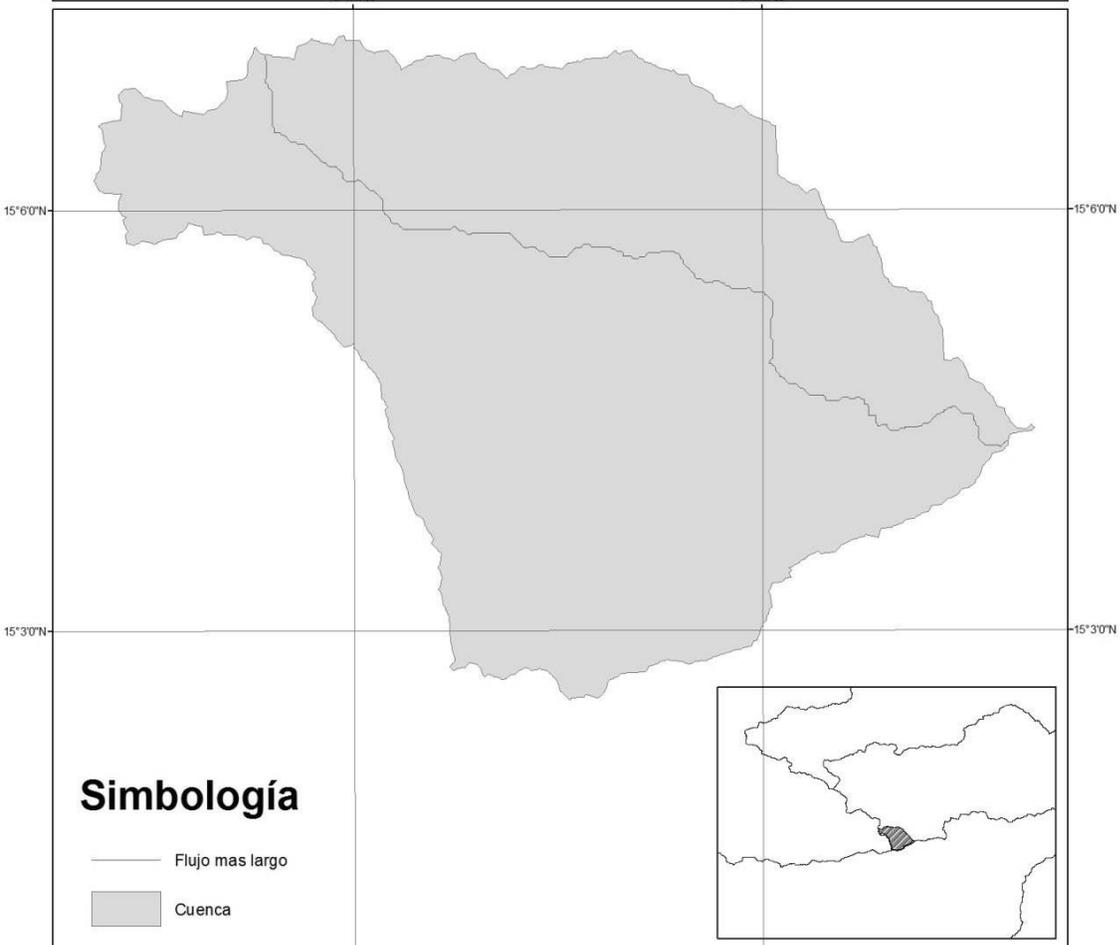
# CUENCA HASTA ESTACIÓN CAMOTÁN



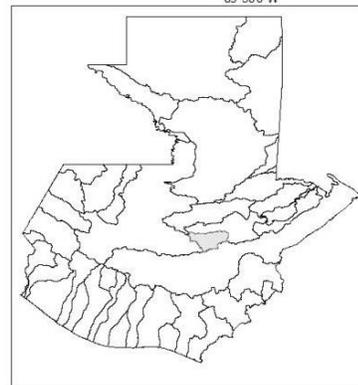
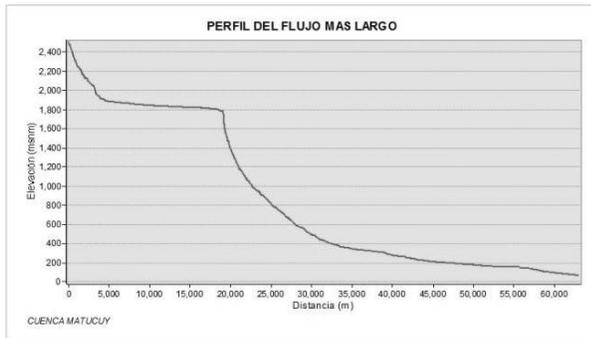
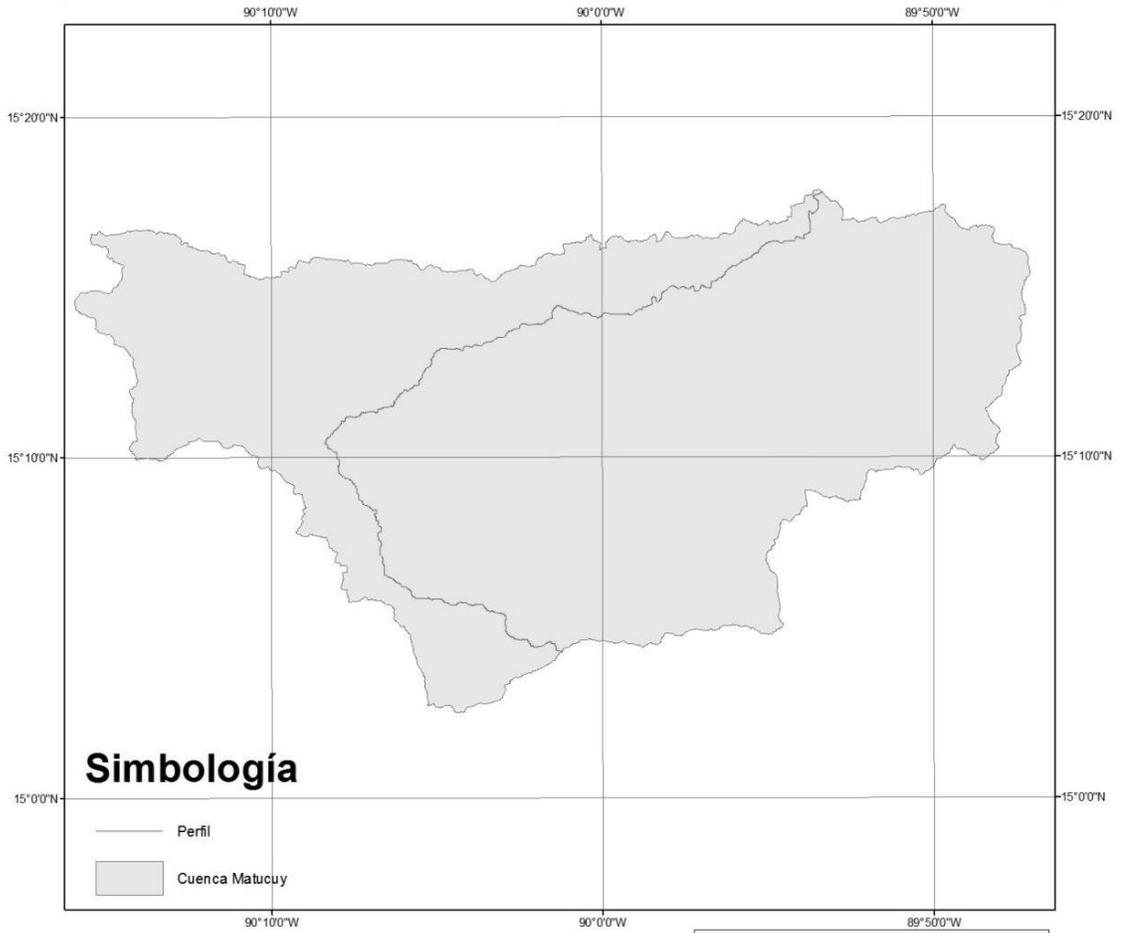


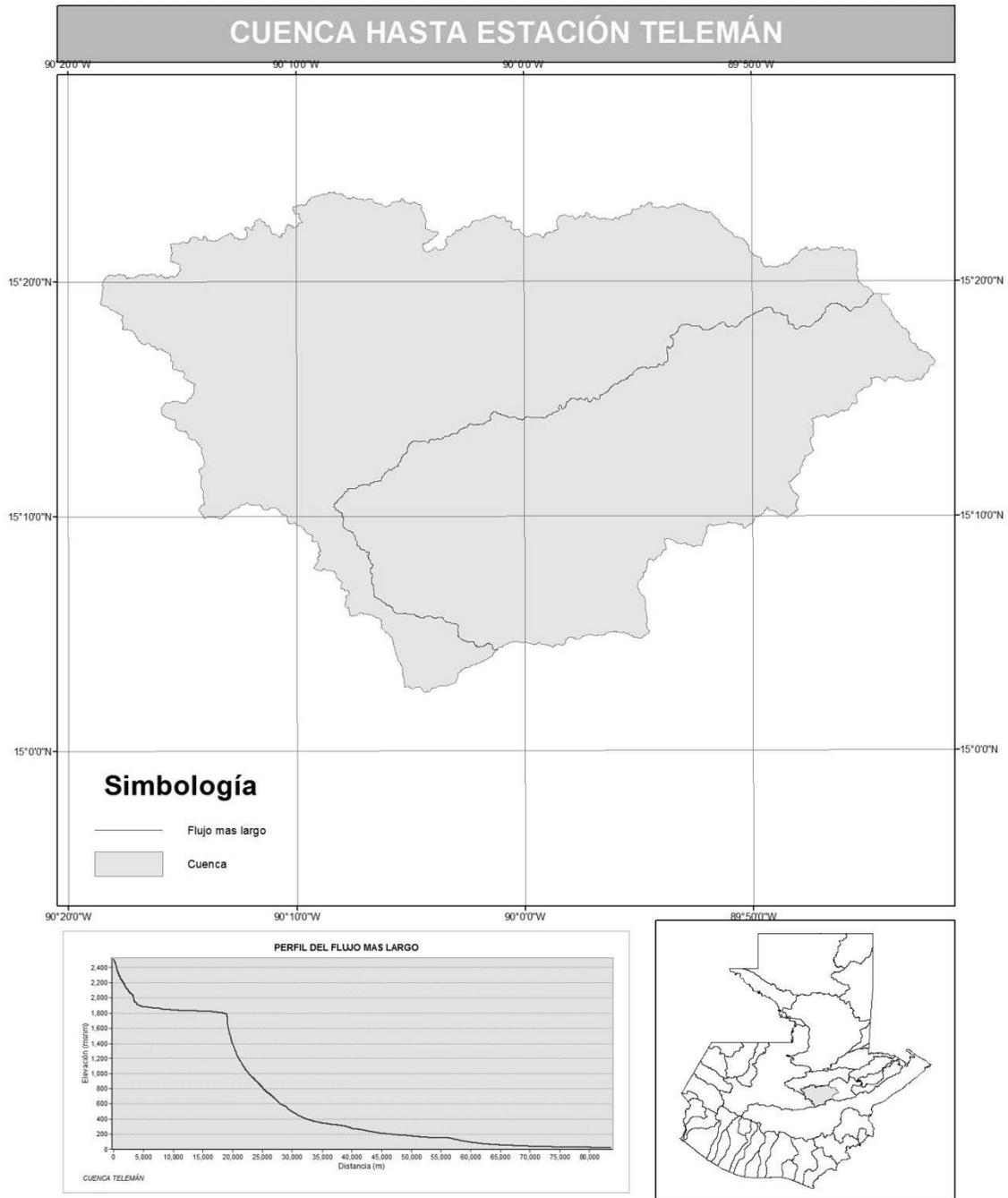


# CUENCA HASTA ESTACIÓN CHILASCÓ

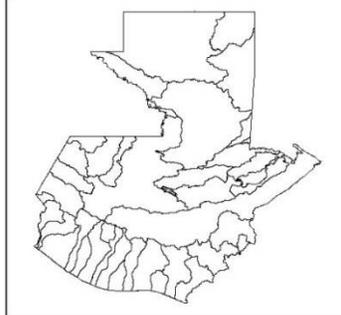
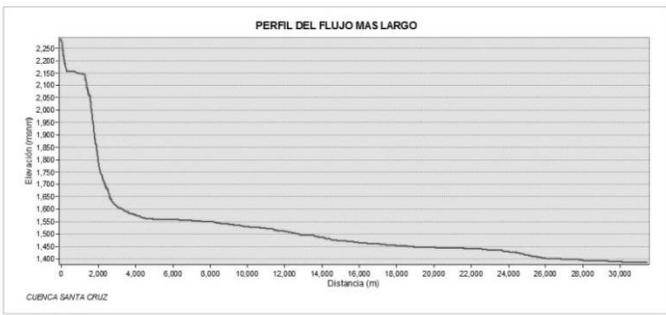
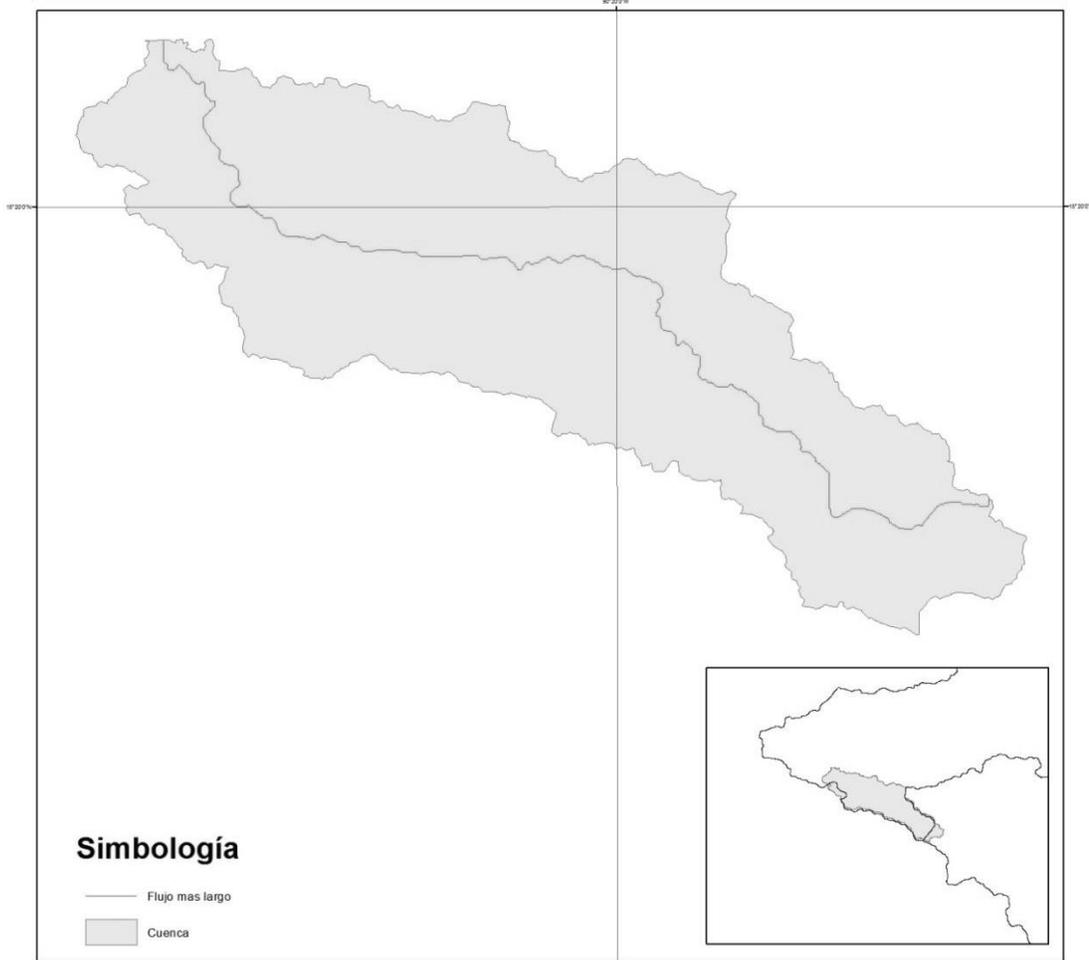


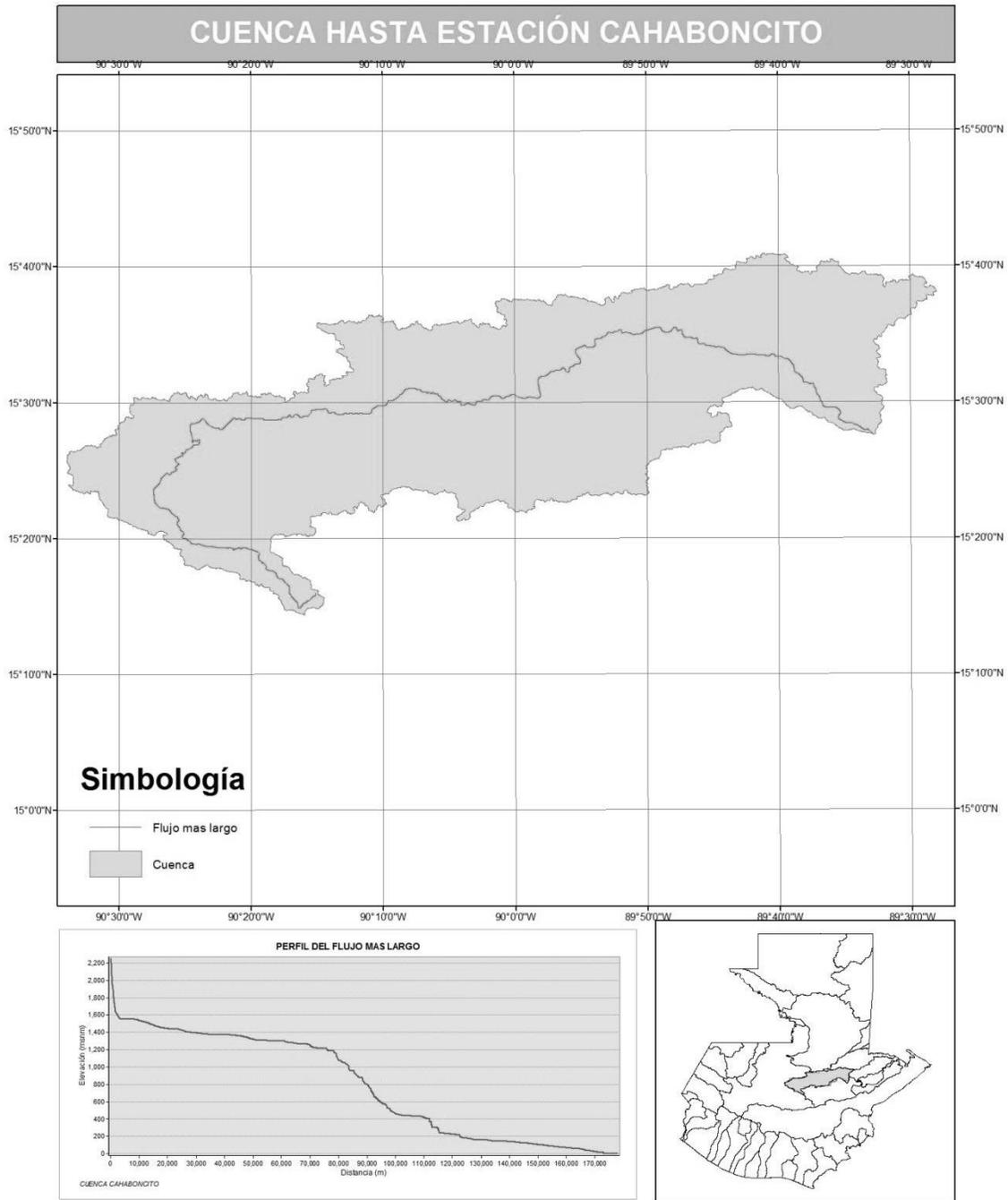
# CUENCA HASTA ESTACIÓN MATUCUY



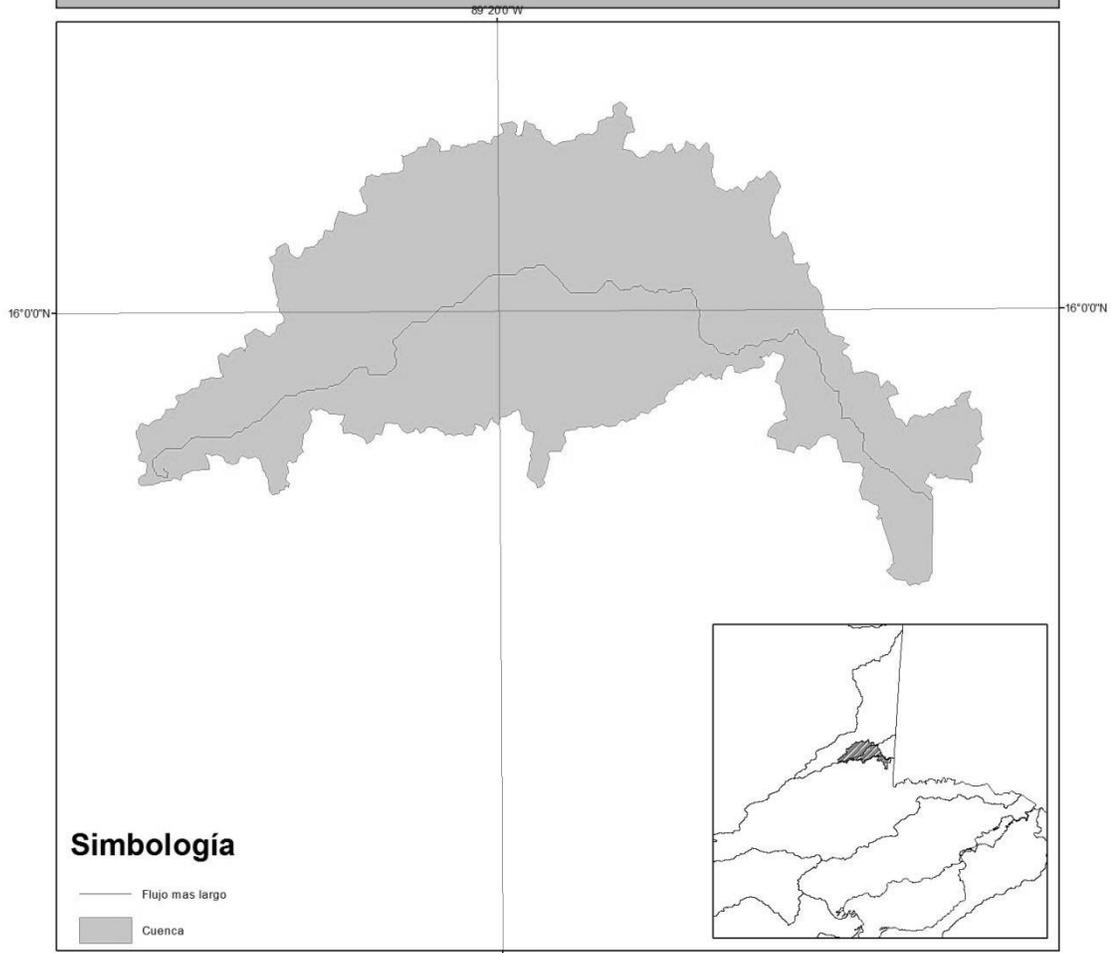


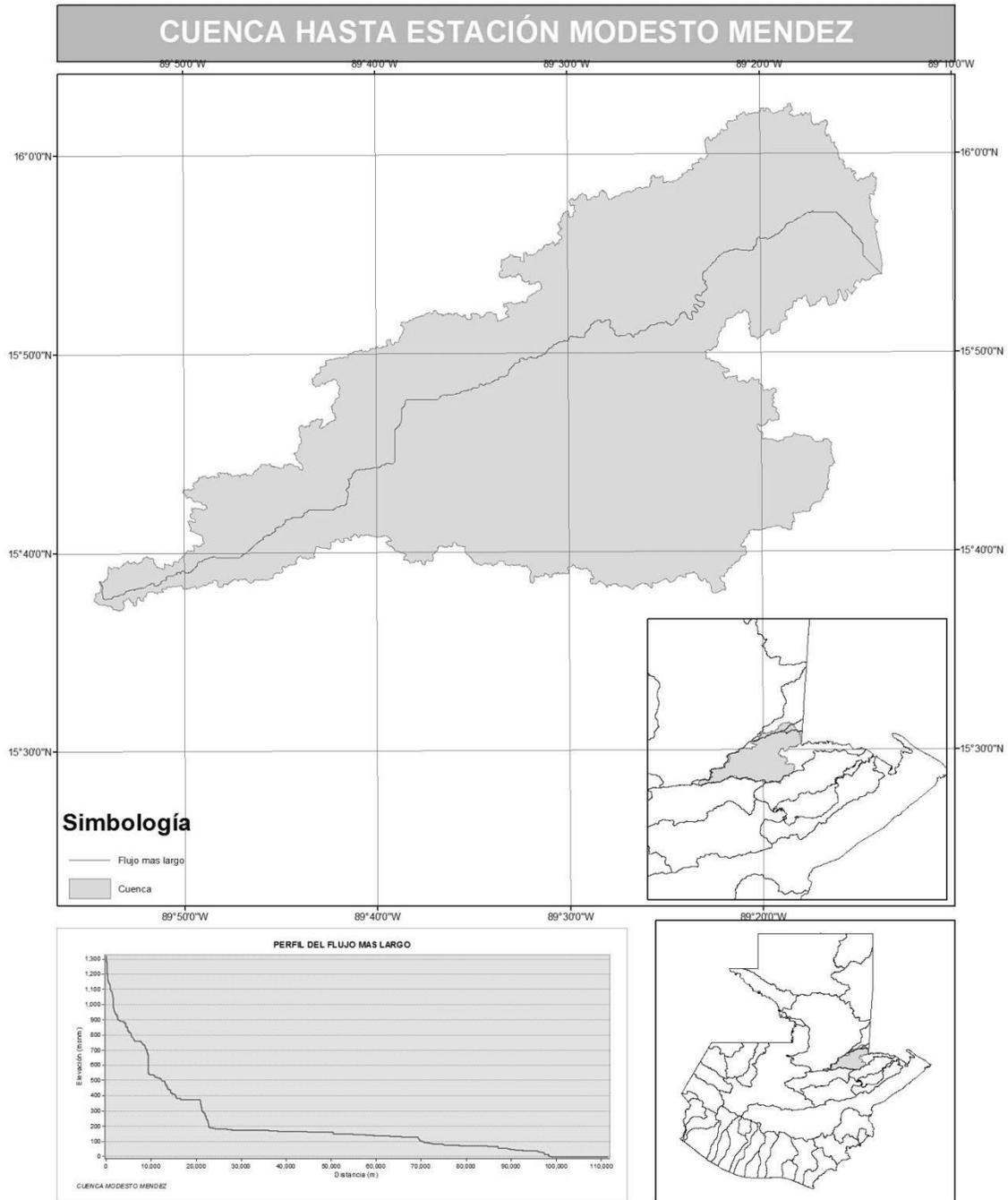
# CUENCA HASTA ESTACIÓN SANTA CRUZ





# CUENCA HASTA ESTACIÓN SAN PEDRO CARDENAS





Fuente: Insivumeh. [www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt). Consulta: julio de 2014.