

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE CAUDALES DE CRECIDA EN LA CUENCA DEL RÍO
SAMALÁ: MODELOS LLUVIA-ESCORRENTÍA, CON FINES DE
EVALUACIÓN DE AMENAZAS DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

ALFREDO ANTONIO CAHUEX COTÍ

ASESORADO POR EL ING. ELFEGO OROZCO FUENTES

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	---
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR:	Ing. Erick Rosales Torres
EXAMINADOR:	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIA:	Inga. Gilda María Castellanos Baiza de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DE CAUDALES DE CRECIDA EN LA CUENCA DEL RÍO
SAMALÁ: MODELOS LLUVIA-ESCORRENTÍA, CON FINES DE
EVALUACIÓN DE AMENAZAS DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la
Escuela de Ingeniería Civil con fecha 22 de septiembre de 2003

Alfredo Antonio Cahuex Cotí

AGRADECIMIENTOS

A

Dios

Por ser mi luz y mi guía.

Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes

Por su ayuda incondicional en la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

A

Mis padres

Jorge Leonardo Cahuex
Antonieta Cotí de Cahuex
por su gran ayuda y apoyo en todo
momento con mucho cariño.

Mi hijo

Diego Alejandro Cahuex Sac, por ser
la luz de mi vida y mi inspiración
con todo mi amor.

Mi esposa

Rosa Goretti Sac de Cahuex, por su
compañía y apoyo, con mucho amor.

Mis hermanos

Jorge Luis y Ana Cecilia, con mucho
cariño.

Mis sobrinos

Eduardo Enrique, Lucía Alejandra y
José Carlos.

Mis cuñados

Aura Marina y José Manuel.

Mis amigos

Con mucho aprecio y respeto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	VII
RESUMEN	VIII
OBJETIVOS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. GENERALIDADES	
1.1. Lluvia	1
1.1.1. Lluvia convectiva	2
1.1.2. Lluvia orográfica	3
1.1.3. Lluvia ciclónica	4
1.2. Variación temporal y espacial de la lluvia	5
1.3. Escorrentía superficial	7
1.4. Relación lluvia-escorrentía	9
1.5. Modelos lluvia-escorrentía	11
2. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA DEL RÍO SAMALÁ	
2.1. Ubicación del área en estudio	13
2.2. Características generales	15
2.3. Delimitación de la cuenca	16
2.4. Parámetros morfométricos de la cuenca	16
3. ANÁLISIS DE LLUVIAS INTENSAS	
3.1. Lluvias diarias	22
3.2. Lluvias máximas intensas	26
3.3. Lluvia máxima probable	31
3.4. Distribución espacial de lluvias	37

4.	MODELOS LLUVIA ESCORRENTÍA	
4.1.	Estimación de lluvia efectiva	43
4.2.	Tiempo de concentración de la cuenca	47
4.3.	Mapa de isolíneas	48
4.4.	Hidrograma unitario sintético del SCS	51
4.5.	Crecida máxima probable	54
5.	CAUDALES DE DISEÑO	57
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	REFERENCIAS	63
	BIBLIOGRAFÍA	65
	APÉNDICES	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Mecanismo de ascenso de tipo convectivo de masas húmedas de aire	2
2	Precipitación del tipo orográfico	4
3	Origen de una precipitación de tipo ciclónica	5
4	Variación mensual de los valores de lluvia (en mm) en la estación El Asintal, basado en informe del año 1995, según registros del INSIVUMEH	6
5	Distribución espacial de lluvia promedio anual en Guatemala	8
6	Municipios que abarca la cuenca del río Samalá	14
7	Localización de la cuenca del río Samalá	17
8	Perfil longitudinal del cauce del río Samalá y su comparación con los ríos Nimá I y Tambor	19
9	Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Labor Ovalle (elevación de 2,400 msnm). Curvas típicas para la región alta de la cuenca del río Samalá	24
10	Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Retalhuleu (elevación de 200 msnm). Curvas típicas para la región alta de la cuenca del río Samalá	25
11	Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Zunil (elevación de 1,900 msnm). Curvas típicas para la región alta de la cuenca del río Samalá	25
12	Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Observatorio Santiaguito (elevación de 900 msnm). Curvas típicas para la región alta de la cuenca del río Samalá	26
13	Familia de curvas DIF para la estación Zunil	27
14	Familia de curvas DIF para la estación Labor Ovalle	28

15	Familia de curvas DIF para la estación Retalhuleu	28
16	Familia de curvas DIF para la estación Observatorio Santiaguito	29
17	K en función de los valores máximos promedios de precipitación y de la duración de la precipitación	33
18	Factores de ajuste f_1 y f_3 , en relación al número de años de registro	34
19	Factor de ajuste f_2 , en relación al nuevo valor para X_{n-m}	35
20	Factor de ajuste f_4 , en relación al nuevo valor para S_{n-m}	35
21	Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1 día consecutivo y período de retorno $Tr = 2$ años	38
22	Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 2 días consecutivos y período de retorno $Tr = 2$ años	39
23	Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1 día consecutivo y período de retorno $Tr = 5$ años	40
24	Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 2 días consecutivos y período de retorno $Tr = 5$ años	41
25	Mapa de isolíneas que representa los valores de PMP de las estaciones indicadas	50
26	Forma del Hidrograma triangular del SCS	52
27	Hidrogramas para los sitios y Tr indicados	54
28	Hidrogramas de crecida máxima probable en los puntos de control indicados	55
29	Hidrogramas para una crecida con Tr de 100 años y para una crecida máxima probable, a la altura del puente de la CA2, en la cuenca del río Samalá	56
30	Familia de curvas DIF para la estación La Concha	71
31	Familia de curvas DIF para la estación El Asintal	71
32	Familia de curvas DIF para la estación Catarina	72
33	Familia de curvas DIF para la estación Chojojá	72
34	Ríos Samalá, Nimá y Tambor	75

TABLAS

I	Departamentos y municipios que abarca la cuenca del río Samalá	13
II	Clasificación de accidentes topográficos en la cuenca del río Samalá	15
III	Cuencas que colindan con la cuenca del río Samalá	16
IV	Parámetros morfométricos de la cuenca del río Samalá	18
V	Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1, 2, 3, 5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), estación Labor Ovalle, elevación de 2,400 msnm	22
VI	Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1, 2, 3, 5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), estación Retalhuleu, elevación de 200 msnm	23
VII	Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1, 2, 3, 5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), estación Zunil, elevación de de 1,900 msnm	23
VIII	Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1, 2, 3, 5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), estación Observatorio Santiaguito, elevación de 900 msnm	24
IX	Magnitudes de intensidad de lluvia asociadas a períodos de retorno de 2, 5 y 10 años.	30
X	Valores de PMP en mm de las estaciones indicadas	36
XI	Puntos de control para la cuenca del río Samalá	44
XII	Factores de ponderación en función del área de cobertura de cada uso indicado en cada punto de control de la cuenca del río Samalá y Po ponderado para cada punto	45
XIII	Lluvia máxima (mm) sobre las cuencas indicadas, de 24 horas de duración, y para los períodos de retorno (Tr) indicados.	46
XIV	Valores de precipitación neta o efectiva (mm) calculados para las cuencas en estudio y para los períodos de retorno indicados	46
XV	Tiempo de concentración, Tc en minutos correspondientes a las cuencas	

	en estudio	48
XVI	Características morfométricas de los puntos de control	51
XVII	Factores para obtener el Hidrograma Adimensional del SCS	53
XVIII	Caudales pico asociados a diferentes períodos de retorno y para cada sitio indicado	53
XIX	Características de las estaciones meteorológicas con información de lluvia diaria	67
XX	Datos de lluvia máxima en 24 horas (1.13 de la lluvia máxima diaria) para las estaciones meteorológicas indicadas	69
XXI	Magnitudes de intensidad de lluvia asociadas a períodos de retorno de 2, 5 y 10 años	73
XXII	Valores de los caudales en m ³ /s, calculados para una crecida máxima probable en los sitios indicados, en los intervalos de tiempo (hrs) indicados	77

GLOSARIO

- Caudal:** Cantidad de agua de un río o de una fuente que pasa en un segundo por un punto de su curso. Se mide en metros cúbicos o litros por segundo (m³/seg, lts/seg).
- Cuenca:** Territorio cuyas aguas fluyen todas al mismo río, lago o mar; está delimitada por divisorias de aguas.
- Escorrentía:** Del agua precipitada, la que escurre superficialmente.
- Interpolar:** Acción y efecto de interponer o intercalar un valor entre otros.
- Hidrograma:** Representación gráfica de la variación del caudal respecto al tiempo.
- Pendiente:** El ángulo de inclinación de una ladera como relación porcentual entre la diferencia de alturas y las distancias horizontales.
- Pluviómetro:** Instrumento utilizado para medir la cantidad de lluvia precipitada.
- Vertiente:** Pendiente, superficie inclinada de un relieve, termina a menudo en un valle. Para propósitos de cuencas de Guatemala, vertiente es el conjunto de cuencas que derivan sus aguas tanto para el océano Pacífico, Atlántico y el Golfo de México.

RESUMEN

Toda región cercana a un río, se encuentra expuesta a los desastres provocados por la acción de los procesos de alteración de los cauces naturales, estos desastres pueden afectar a las poblaciones y su actividad económica, obras de infraestructura, etc. Por esta razón, es necesario realizar un estudio de caudales de crecidas, el cual ayude a determinar con mayor precisión el comportamiento hidrológico del río Samalá.

En el presente trabajo se muestran los índices de precipitación dentro de la cuenca, los cuales varían espacial y temporalmente, y tienen sus valores máximos en los meses de mayo a octubre, siendo el resto del año un período de precipitaciones mínimas. Se hace un análisis del régimen de lluvias de la cuenca, en donde, normalmente este tipo de análisis requiere de eventos de lluvias intensas asociados a una duración y a una frecuencia de ocurrencia; todo esto se relaciona en las familias de curvas de duración-intensidad-frecuencia (DIF). Por otro lado, también se encuentra el análisis de lluvias que ocurren en múltiplos de un día y asociados a diferentes probabilidades de ocurrencia, lo cual se observa en las familias de curvas de frecuencia para diferentes duraciones.

Con el análisis de crecidas se pueden estimar las magnitudes razonables que pueden ocurrir en el río Samalá, dicho análisis se realiza en diferentes puntos de control de la cuenca, mediante la deducción del hidrograma sintético del SCS (Servicio de Conservación de Suelos) de los Estados Unidos de América, debido a la limitación de información simultánea de lluvia y caudales. Este método consiste en la estimación del hidrograma de una crecida originada por un evento de lluvia determinado, en el caso de este trabajo, para un evento de lluvia máximo en 24 horas.

Para el diseño de obras de mitigación pueden utilizarse los caudales hallados a través del hidrograma sintético del SCS, para períodos de retorno de 100 y 1000 años, sin embargo, queda a criterio del planificador utilizar como valores máximos de diseño, aquellos que sean originados por una crecida máxima probable.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar una evaluación de caudales de crecida en diferentes puntos de control de la cuenca del Río Samalá, mediante modelos de lluvia-escorrentía.

Objetivos Específicos

1. Analizar las características de la cuenca del río Samalá.
2. Realizar un análisis de lluvias intensas en diferentes estaciones de la cuenca y en estaciones de cuencas vecinas.
3. Obtener un hidrograma sintético en un punto de control de la cuenca.
4. Obtener caudal de diseño para distintos fines de utilización.

INTRODUCCIÓN

Las corrientes naturales están sometidas continuamente a procesos de erosión, degradación, cambios de curso y desbordamientos. Dentro de las principales causas que intervienen en la generación de estos problemas está la acción de fenómenos naturales, alteraciones provocadas, la variación de la capacidad de transporte de sedimentos en las corrientes, además de las características propias de la cuenca y la misma dinámica de los cauces.

Es por ello que toda la información que esté relacionada con la precipitación es muy útil en la mayoría de proyectos, sobre todo si tienen que ver con: el uso de la tierra, suministro de agua para consumo humano, agrícola o industrial, control de excesos de precipitación, diseño de obras de protección en márgenes de ríos, embalses, puentes, etc., prácticamente en la mayoría de procesos de planificación. Por ejemplo, es de suma importancia conocer con qué caudal de diseño se trabajará para poder construir cualquier obra que pueda ayudar a proteger comunidades cercanas a los márgenes de cualquier río, ya que esto evitará en gran medida, situaciones tales como inundaciones de poblados, destrucción de plantaciones, obstrucción y destrucción de las vías de comunicación, etc., y que aún más, afectan las vidas, la comunicación y la actividad económica de estas poblaciones.

Por tal motivo, en este trabajo se realiza un estudio de caudales de crecida de la cuenca del río Samalá, en donde inicialmente se describen algunos conceptos generales para el desarrollo de este trabajo, para luego conocer en detalle, aspectos geográficos y morfométricos principales de la cuenca.

Posteriormente se hace un análisis de lluvias intensas, y se determina la lluvia máxima probable en varias estaciones dentro de la cuenca y estaciones cercanas a la misma. Luego se procede a mostrar cómo se pueden utilizar modelos sintéticos para

estimaciones de caudales dentro de la cuenca, a partir de los datos que se tienen disponibles, para finalizar con el cálculo de la crecida máxima probable y una explicación de la utilización de estos caudales de diseño, presentando además las conclusiones y recomendaciones obtenidas, anexos y la bibliografía consultada.

1. GENERALIDADES

1.1. Lluvia:

El vapor de agua en la atmósfera es un factor necesario en la formación de precipitación, pero no es el único requisito. La humedad está siempre presente en la atmósfera, incluso en días despejados. Es necesaria además la condensación de la humedad junto con la ayuda de los núcleos higroscópicos, los cuales están presentes en la atmósfera en cantidades adecuadas. El enfriamiento a gran escala, preciso para cantidades de precipitación apreciables, se logra por elevación del aire. La precipitación se clasifica a menudo, según el factor que provoca dicha elevación (Linsley, 1967).

Lo anterior dará lugar a la formación de gotas muy pequeñas de agua. Al adherirse unas con otras forman las gotas de lluvia, las cuales al descender por las nubes pueden aumentar de tamaño al adherirse otras o pueden disminuir de tamaño debido a la colisión con otras gotas (Orozco, 2002).

En las latitudes medias, la precipitación tiene lugar de muchas formas, dependiendo de las condiciones meteorológicas reinantes. La llovizna consiste en gotas de agua de diámetro inferior a 0.5 mm y su intensidad, generalmente, es inferior a 1 mm/h. La lluvia consiste en gotas, generalmente, mayores de 0.5 mm de diámetro. Las gotas mayores de 6 mm de diámetro tienden a romperse al ir descendiendo en el aire, así que puede aceptarse como límite práctico superior de tamaño de la gota de lluvia el de 6 mm.

Para la formación de la lluvia, es necesario un mecanismo que facilite el ascenso de las masas de aire húmedo hasta un nivel donde la temperatura favorezca la

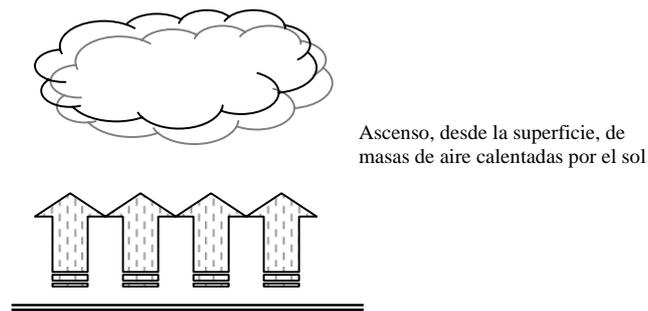
condensación. Existen tres tipos de mecanismos responsables del ascenso de masas de aire húmedo, los cuales dan origen a tres tipos de lluvia:

1.1.1. Lluvia convectiva:

Según Orozco (2002), las también llamadas lluvias por convección, son el resultado del ascenso de masas de aire debido a la disminución de su densidad como resultado de su calentamiento en la superficie, tal como se muestra en la figura 1.

El ascenso de las masas de aire debido a la flotación resulta del calentamiento local desigual. La precipitación de origen convectivo se caracteriza por presentarse como aguaceros con altas intensidades, acompañadas frecuentemente de truenos y relámpagos. La precipitación por convección es esporádica, y su intensidad puede oscilar desde ligeras lloviznas hasta lluvias combinadas con vientos fuertes (Linsley, 1967).

Figura 1. Mecanismo de ascenso de tipo Convectivo de masas húmedas de aire.



Fuente: Élfego Orozco, **Curso de Hidrología Ambiental**. Pág. 8

Estos eventos ocurren, sin embargo, sobre pequeñas extensiones y con duraciones, relativamente cortas. Las celdas individuales de lluvia cubren extensiones que no sobrepasan los 500 km².

Por lo general, la distribución de la lluvia convectiva es irregular. La duración de estos eventos es menor a las dos horas. En cuanto a la intensidad, ésta puede ser entre los 10 y los 50 mm/h. Naturalmente, la intensidad disminuye al aumentar la duración. Por ejemplo, es normal que la intensidad de un evento de 100 minutos de duración sea del orden de la tercera parte de la intensidad de un evento de 10 minutos.

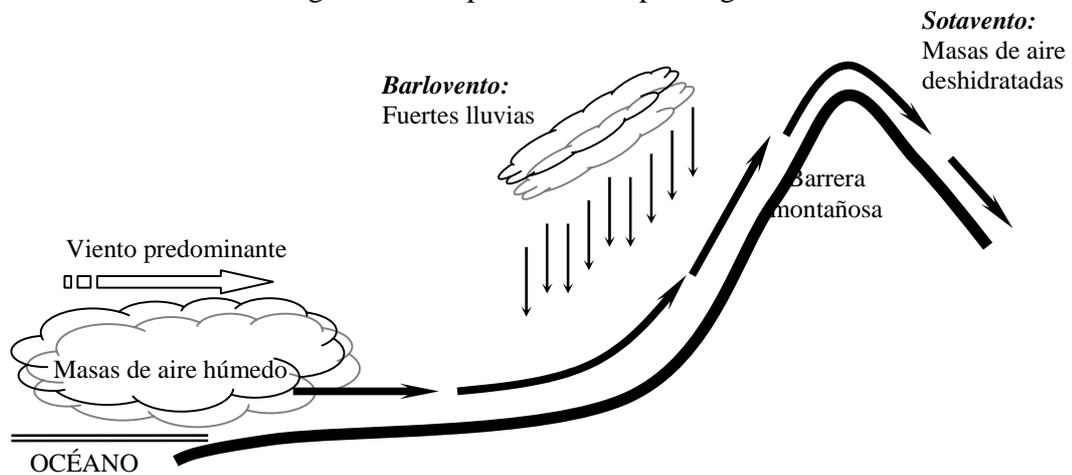
En Guatemala, la precipitación convectiva, normalmente ocurre en horas después del medio día, cuando el balance de radiación es favorable para el calentamiento de masas de aire (Orozco, 2002).

1.1.2. Lluvia orográfica:

Ésta se origina por el ascenso de masas de aire húmedo forzado por barreras físicas (montañas) que se encuentran en la trayectoria de dichas masas. En terreno abrupto, la influencia orográfica es tan marcada que las características de las lluvias tormentosas tienden a representar las de la lluvia media anual (Linsley, 1967). Este tipo de eventos está asociado a lluvias fuertes en el lado de barlovento (lado de ascenso de las masas de aire húmedo), mientras que del lado de sotavento las masas de aire llegan un tanto deshidratadas, por lo que la precipitación es menor, ocasionando las llamadas “sombras de lluvia” (Orozco, 2002).

Una esquematización del origen de las precipitaciones de tipo orográfico se muestra en la figura 2 en la siguiente página, donde se observan claramente las diferencias que se producen en las áreas de barlovento y sotavento.

Figura 2. Precipitación del tipo orográfico



Fuente: Élfego Orozco, **Curso de Hidrología Ambiental**. Pág. 9

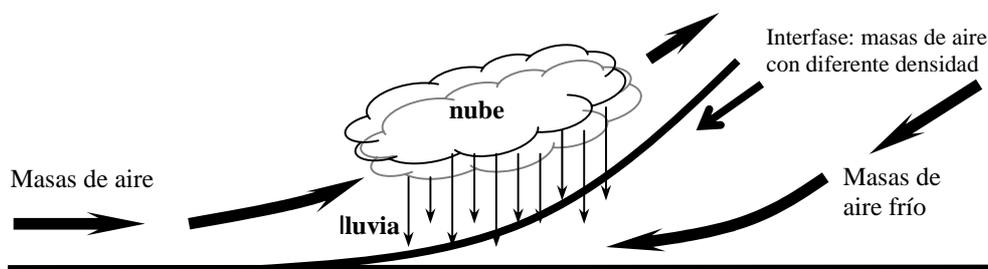
De acuerdo a Orozco (2002) el efecto orográfico de la cadena volcánica del Pacífico guatemalteco es típico, dónde llegan a chocar las masas cargadas de humedad provenientes de Océano Pacífico, es por ello que: por ejemplo, en la cuenca del río Samalá, se presentan bastantes precipitaciones de este tipo, originando una distribución de la precipitación que varía con la elevación.

1.1.3. Lluvia ciclónica:

Esta ocurre como resultado del deslizamiento de masas de aire con diferente densidad (debido a diferencias en temperatura). Esta lluvia frontal puede ocurrir cuando el aire caliente se mueve sobre el frío: frente caliente, o el frío respecto al caliente: frente frío, tal como se muestra en la figura 3 en la siguiente página.

La lluvia producida por un frente caliente se distribuye sobre un área bastante grande y es de baja intensidad y de larga duración; mientras que la originada por un frente frío es intensa y de corta duración y se distribuye, por lo general, cerca de la interfase frontal (Orozco 2002).

Figura 3. Origen de una precipitación de tipo ciclónica.



Fuente: Élfego Orozco, **Curso de Hidrología Ambiental**. Pág. 10

En Guatemala, este tipo de precipitación está asociada, principalmente, a la actividad ciclónica tanto del Pacífico como del Atlántico Norte. Esta actividad ciclónica tiene lugar, normalmente, entre junio y noviembre, con una fuerte actividad entre los meses de agosto a octubre (Orozco, 2002).

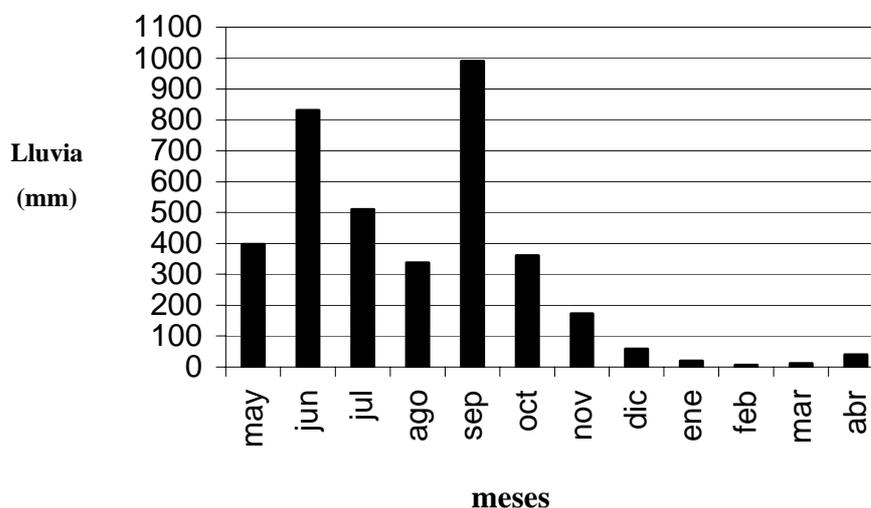
En la naturaleza, los efectos de estos tres tipos de enfriamiento están a menudo relacionados, y la precipitación resultante no puede identificarse claramente con alguno de estos tipos.

1.2. Variación temporal y espacial de la lluvia

El régimen de lluvias en la región guatemalteca manifiesta una distribución temporal y espacial (horizontal y vertical) muy variada. Este régimen se debe a la combinación de diferentes condiciones geográficas y meteorológicas. La época de lluvias, básicamente ocurre entre mayo y octubre. En general en esta época del año cae del 75 al 95 % de la precipitación anual (Orozco, 2002).

Lo anterior se puede observar claramente a continuación en la figura 4, que muestra la variación temporal de la lluvia y sus valores extremos para la estación El Asintal, Retalhuleu, según los datos del año de 1995. En general se observa que se presentan, en la época lluviosa, dos períodos bien marcados de lluvias altas, en junio y septiembre, en estos meses cae, un poco más del 45% de la precipitación anual.

Figura 4. Variación mensual de los valores de lluvia (en mm) en la estación El Asintal, basado en informe del año 1995, según registros del INSIVUMEH



Fuente: **INSIVUMEH**

Durante los meses de diciembre a enero, se produce un fenómeno meteorológico global que influye en el régimen de lluvias, y de acuerdo a Orozco (2002) se trata de los vientos del Norte que traen consigo masas de aire frío, que al chocar con masas de aire caliente cargadas de humedad, favorecen las lluvias, especialmente en el Norte guatemalteco; mientras que en la región Sur, a lo largo de la costa del océano Pacífico la lluvia en esos meses, prácticamente es nula. Así como se observa en la figura anterior durante los meses de diciembre, enero y febrero las precipitaciones desaparecen y no es sino hasta el mes de mayo que adquiere nuevamente valores considerables.

Otro aspecto que tiene mucha influencia en la distribución espacial de las precipitaciones en Guatemala, lo constituye el efecto orográfico de las cadenas montañosas, ya que esto produce variación de la precipitación a lo largo de la vertiente del Pacífico.

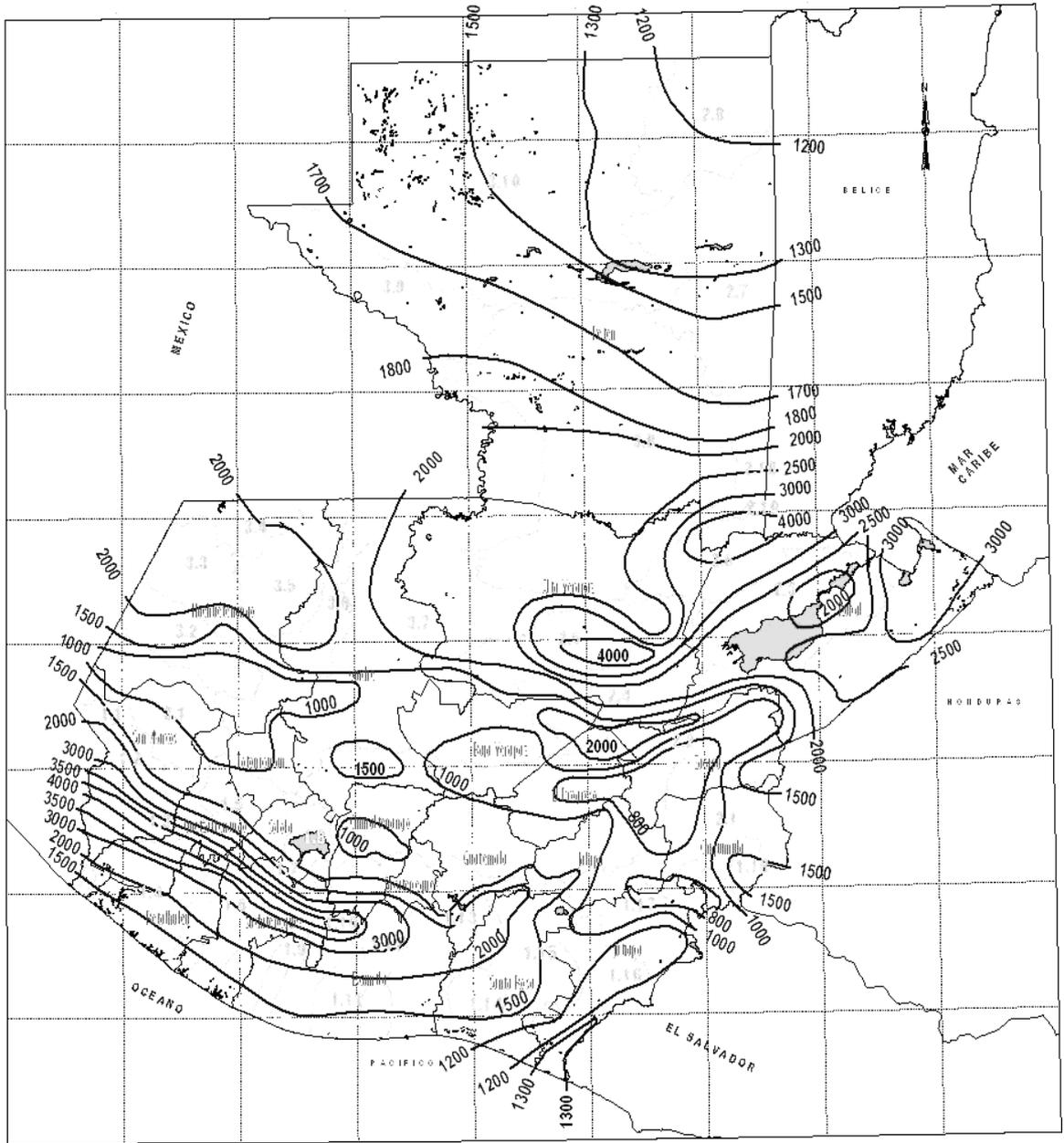
La magnitud de la lluvia anual; por ejemplo en el Sur-Oeste del país, en el lado de barlovento, puede superar los 5,000 mm, mientras que en el lado de sotavento, donde se producen las llamadas “sombras de lluvia”, éstas pueden ser inferiores a los 1,000 mm anuales (Orozco, 2002), tal y como se observa en la figura 5, en la siguiente página.

1.3. Escorrentía superficial

El agua que forma las corrientes puede llegar a los cauces por uno o varios caminos desde el punto en que cae sobre la tierra en forma de precipitación. Parte del agua fluye sobre la superficie del suelo como escorrentía superficial y llega a la corriente poco después de su caída como lluvia.

Parte del agua se infiltra a través de la superficie del suelo y fluye bajo la superficie hasta el cauce. Esta agua se desplaza más lentamente que la escorrentía superficial y contribuye al mantenimiento del caudal de las corrientes superficiales durante los períodos de la estación seca. En los estudios hidrológicos que implican la evaluación del caudal en las corrientes es, generalmente, necesario distinguir entre dichas componentes (Linsley, 1967).

Figura. 5. Distribución espacial de la lluvia promedio anual en Guatemala.



Fuente: Atlas Hidrológico de la República de Guatemala, INSIVUMEH 2004.

El camino real que sigue una partícula de agua dada desde el instante que llega al suelo hasta que alcanza la corriente es tortuoso. El primero de tres recorridos principales es el escurrimiento superficial. Éste, que también es llamado escorrentía superficial, y no es más que el agua que escurre sobre la superficie del terreno hasta su cauce. La palabra “cauce”, se emplea para designar cualquiera de las aguas que pueden llevar pequeños arroyuelos de agua turbulentamente durante la lluvia y poco tiempo después de ella. Tales cauces son numerosos, y la distancia que el agua tiene que recorrer como escorrentía superficial es relativamente corta, casi nunca más de 70 m y normalmente mucho menos.

Por consiguiente, la escorrentía superficial llega pronto a un cauce y, si éste ocurre en cantidad suficiente, es un importante elemento en la formación de crecidas. No obstante, la cantidad de escorrentía superficial puede ser escasa, pues la escorrentía superficial sobre la superficie de un suelo permeable solo puede ocurrir cuando el valor de la lluvia sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo.

En muchas lluvias de baja intensidad, la escorrentía superficial puede solo provenir de las superficies impermeables dentro de la cuenca o de la precipitación que cae directamente sobre la superficie de agua de la cuenca. Excepto en áreas urbanas, el total del área impermeable y de la superficie de agua es, generalmente, una parte pequeña del área de la cuenca. Por ello, la escorrentía superficial es un factor importante en el caudal de la corriente solo como resultado de lluvias fuertes o de alta intensidad (Linsley, 1967).

1.4. Relación lluvia escorrentía:

La lluvia es el factor primordial que determina el caudal. La secuencia de los fenómenos es tal que la escorrentía va retrasada en relación con la precipitación que la produce, dependiendo la cantidad de retraso de las características del área de recepción.

La eficiencia del planeamiento y operación de los proyectos hidráulicos se basa en las relaciones precisas de lluvia-escorrentía y en las técnicas de distribución de la escorrentía a lo largo del tiempo.

Hasta hace poco, la estimación de la escorrentía como un porcentaje de la lluvia fue práctica reglamentaria. El coeficiente aplicable varía desde casi cero en lluvias de baja intensidad hasta un valor relativamente elevado en eventos de lluvia fuertes, y depende de las condiciones iniciales de humedad. Aunque los hidrólogos con experiencia pueden lograr seleccionar el coeficiente adecuado para cada evento de lluvia, el método es extremadamente subjetivo, y su empleo no puede recomendarse en la estimación de la escorrentía de tormentas específicas (Linsley, 1967). Dicho método se emplea todavía ampliamente en el diseño de estructuras de drenaje de lluvias de baja intensidad y controles pequeños de agua y es la base de proyecto que se exige por muchos códigos de ciudades.

Las variaciones del coeficiente de escorrentía en función de la magnitud de las lluvias pueden calcularse por correlación gráfica de lluvia y escorrentía. Tales relaciones son curvas típicas que indican un incremento del porcentaje de escorrentía al aumentar la lluvia.

La cantidad de escorrentía producida por un evento de lluvia depende: 1) de la deficiencia de humedad de la cuenca al iniciarse la lluvia y 2) de las características de la tormenta, tales como cantidad de lluvia, intensidad y duración (Linsley, 1967).

Las características de un evento de lluvia pueden determinarse con una red adecuada de pluviómetros, pero la determinación directa de las condiciones de humedad en toda la cuenca al comienzo de una lluvia no es factible.

1.5. Modelos lluvia-escorrentía:

El flujo en un río depende principalmente de las lluvias, y por ello es indispensable analizar las relaciones entre lluvia y escorrentía y los métodos o modelos para distribuir la escorrentía a través del tiempo, según Rosada (2002).

Dicha relación es la que permite, entre otras cosas, realizar estimaciones tales como: los caudales en ríos sin estaciones de medida o bien cuando falten datos de las estaciones existentes, la operación de proyectos hidráulicos, determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos como lluvia máxima o crecidas máximas en un período de retorno establecido, etc.

2. MORFOMETRÍA DE LA CUENCA DEL RÍO SAMALÁ

2.1. Ubicación del área en estudio

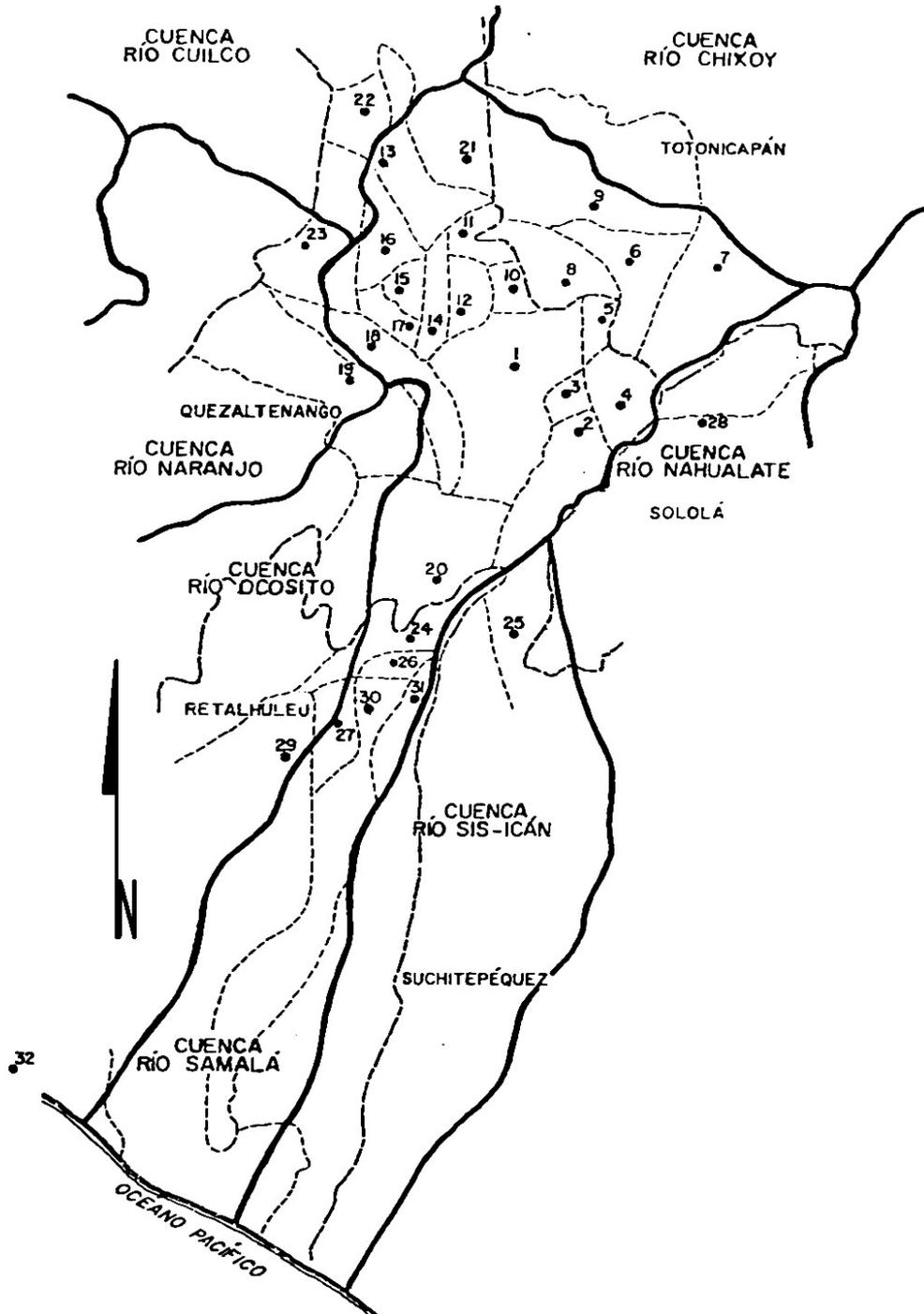
La cuenca abarca parcialmente los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Sololá, Totonicapán y Quetzaltenango, y de ellos los municipios que aparecen clasificados en la tabla I que a continuación se muestra y que además se puede apreciar en la figura 6 de la siguiente página:

Tabla I. Departamentos y Municipio que abarca la cuenca del Río Samalá

No	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
1	Quetzaltenango	Quetzaltenango
2	Zunil	Quetzaltenango
3	Almolonga	Quetzaltenango
4	Cantel	Quetzaltenango
5	Salcajá	Quetzaltenango
6	Sn Cristobal Totonicapán	Totonicapán
7	Totonicapán	Totonicapán
8	Sn. Andrés Xecul	Totonicapán
9	Sn. Francisco El Alto	Totonicapán
10	Olintepeque	Quetzaltenango
11	Sn. Francisco La Unión	Quetzaltenango
12	La Esperanza	Quetzaltenango
13	Sibilia	Quetzaltenango
14	San Mateo	Quetzaltenango
15	San Miguel Sigüila	Quetzaltenango
16	Cajolá	Quetzaltenango
17	Ostuncalco	Quetzaltenango
18	Concepción Chiquirichapa	Quetzaltenango
19	Sn. Martín Sacatepequez	Quetzaltenango
20	El Palmar	Quetzaltenango
21	San Carlos Sija	Quetzaltenango
22	Huitán	Quetzaltenango
23	Palestina de Los Altos	Quetzaltenango
24	Sn. Felipe	Retalhuleu
25	Zunilito	Suchitepéquez
26	Sn. Martín Zapotitlán	Retalhuleu
27	Sn. Sebastián	Retalhuleu
28	Santa Catarina Ixtahuacán	Sololá
29	Retalhuleu	Retalhuleu
30	Santa Cruz Muluá	Retalhuleu
31	Sn. Andrés Villa Seca	Retalhuleu
32	Champerico	Retalhuleu

Fuente: **INSIVUMEH**

Figura. 6. Municipios que abarca la cuenca del río Samalá.



Fuente: INSIVUMEH

2.2. Características Generales

Dentro del territorio nacional existen tres sistemas de vertientes en los que se dividen las cuencas de los principales ríos de la república, que son: Vertiente Mar de las Antillas, Vertiente Golfo de México y Vertiente Pacífico, siendo este último el sistema al cual pertenece la cuenca del río Samalá.

La cuenca del río Samalá se presenta ancha al norte, con unos 30 km en promedio, luego tiende a formar hacia el centro, a la altura del El Palmar hasta aproximadamente San Sebastián (Retalhuleu), una cintura de unos 6 km de ancho, para luego ensancharse nuevamente hacia el sur unos 12 km en promedio.

Entre los principales accidentes topográficos que le componen se encuentran cerros y volcanes, siendo los más reconocidos:

Tabla II. Clasificación de accidentes topográficos en la cuenca del río Samalá

NOMBRE	CERRO	VOLCAN	ALTURA (msnm)
TUICACAIX	X		3322
TENÁ	X		3120
PATEAN	X		3300
LOS VEINTE PALOS	X		3082
TZANTOCUTUJ	X		3200
PANIMASAC	X		2820
TECÚN UMAN (EL BAUL)	X		2640
CANDELARIA	X		3197
CHUICHAM	X		3278
DE ORO	X		2720
SIETE CRUCES	X		3300
SANTIAGUITO		X	2500
SANTA MARIA		X	3772
SIETE OREJAS		X	3200
CERRO QUEMADO		X	2800
Zunil		X	3542
SANTO TOMÁS		X	3505

Fuente: Carlos R. Rosal, **Caracterización Preliminar de la Cuenca del Río Samalá**. Pags. 39,42.

2.3. Delimitación de la cuenca

La cuenca del río Samalá se encuentra ubicada entre los paralelos 14°09' y 15°03' de latitud Norte y los meridianos 91°17' y 91°49' de longitud oeste (Rosal, 1980).

Tiene por límites geográficos, al Norte las cuencas de los ríos Chixoy y Cuilco, al Este las cuencas de los ríos Nahualate y Sis-Ican, al Oeste las cuencas de los ríos Naranjo y Ocosito y al Sur el Océano Pacífico al cual vierte sus aguas, después de drenar 1,510 km² (área total de la cuenca).

La siguiente tabla identifica cada cuenca mencionada en el párrafo anterior e indica a que sistema de vertiente corresponde cada una de ellas, sirviendo como referencia de la figura 7 en la siguiente página.

Tabla III. Cuencas que colindan con la cuenca del río Samalá.

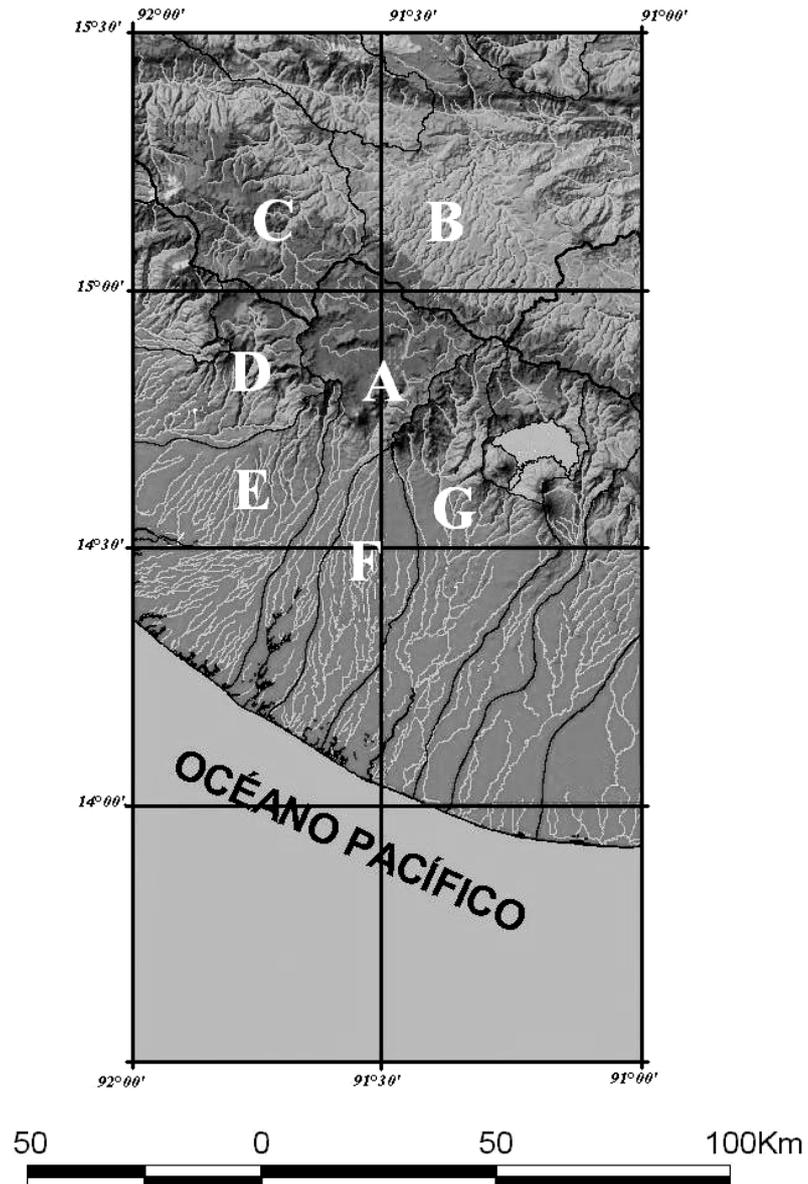
	CUENCA DEL RÍO	VERTIENTE
A	SAMALÁ	Pacífico
B	CHIXOY	Golfo de México
C	CUILCO	Golfo de México
D	NARANJO	Pacífico
E	OCOSITO	Pacífico
F	SIS ICAN	Pacífico
G	NAHUALATE	Pacífico

2.4. Parámetros morfométricos de la cuenca

Mediante un análisis de los parámetros morfométricos de una cuenca, pueden aproximarse ciertas características del comportamiento de un río, así como efectuarse comparaciones con otras cuencas y estudios de correlación. (Acajabón, 1967).

La cuenca del río Samalá cuenta con un área de influencia de 1,510 km², y el cauce principal del río posee una longitud de 142 km.

Figura. 7. Localización de la cuenca del río Samalá.



Fuente: IGN, Mapa de Cuencas de la República de Guatemala.

En la figura del apéndice D se puede observar los ríos Samalá, Nimá y Tambor dibujados dentro de la cuenca.

A continuación se presenta la tabla IV conteniendo algunos parámetros morfométricos de singular relevancia para este estudio:

Tabla IV. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Samalá

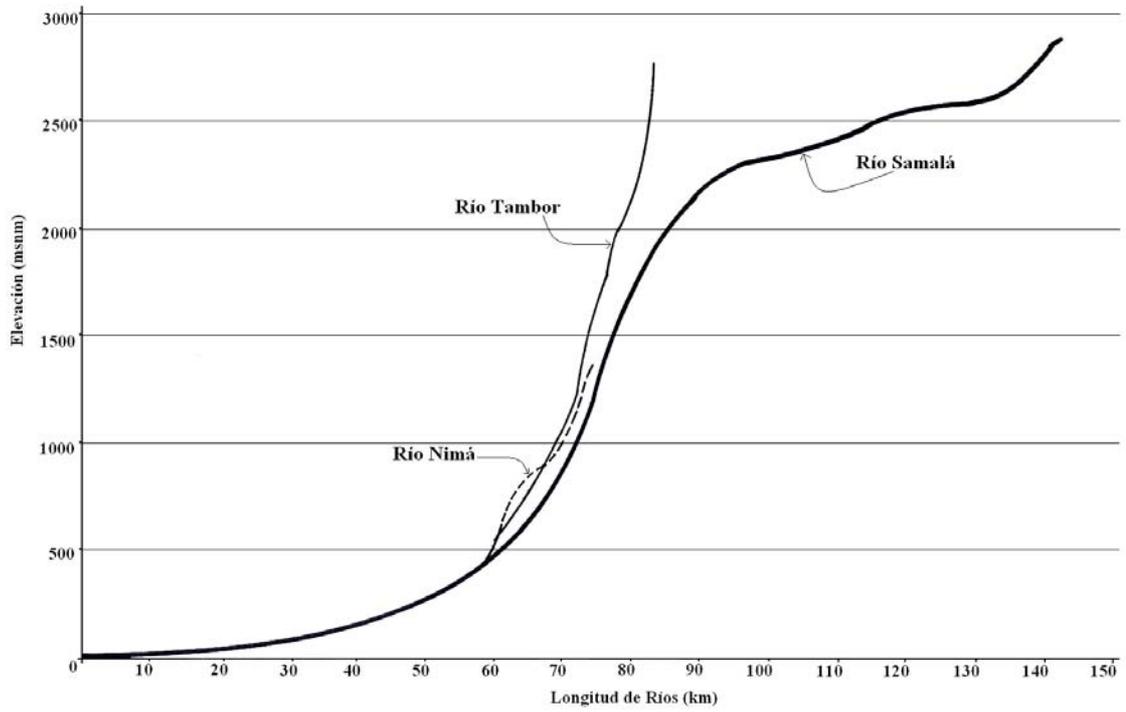
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
ASPECTOS LINEALES		
1, Longitud del cauce principal (L)	142	Km
2, Perímetro de la cuenca (Pk)	287	km
3, Distancia centroidal (Lca)	57	km
ASPECTOS DE SUPERFICIE		
1, Área total de la cuenca (Ak)	1,510	km ²
2, Densidad de drenaje (Dk)	2.14	km/km ²
ASPECTOS DE RELIEVE		
1, Máxima elevación (Emax)	3,772	msnm
2, Mínima elevación (Emin)	0	msnm
3, Máxima elevación en el perímetro de la cuenca (Emax P)	3,542	msnm
4, Elevación promedio de la cuenca (E)	1626	msnm
5, Pendiente media del terreno (Sg)	44	m/km

Fuente: Arturo D. Acajabón M., **Estudio Hidrológico Básico de la Cuenca del Río Samalá**, pags. 7-14.

En la tabla anterior se toman en cuenta aspectos tales como la densidad de drenaje (Dk) que representa al cociente que resulta de dividir la longitud de todas las corrientes entre el área de la cuenca, o bien, la distancia centroideal (Lca), que no es más que la distancia medida sobre el cauce principal, desde el mar al centroide de la cuenca; todos estos datos son de suma importancia para el desarrollo de este trabajo.

En la siguiente página se muestra la figura 8 donde se puede observar el perfil longitudinal del cauce del río Samalá y su comparación con los ríos Nimá I y Tambor desde su inicio hasta su confluencia con éste.

Figura 8. Perfil longitudinal del cauce del río Samalá y su comparación con los ríos Nimá I y Tambor.



3. ANÁLISIS DE LLUVIAS INTENSAS

Debido a la necesidad de implementar medidas de control de inundaciones, ya sean éstas estructurales o no estructurales, se requiere del conocimiento del régimen hidrológico del área de influencia y de la cuenca tributaria. Dentro del régimen hidrológico se incluye, principalmente, el régimen de lluvias, y dentro de éste, los aspectos más importantes, en la caracterización de la problemática de inundaciones, se encuentra el patrón de lluvias intensas. Cualquier análisis hidrológico de eventos extremos requiere necesariamente de información; en nuestro medio, esta es muy escasa para realizar análisis robustos, por lo cual se acude a la información disponible en otras áreas. De acuerdo a lo anterior, el caso del río Samalá no es una excepción ya que la información confiable y consistente es escasa. Existen algunas fuentes de información, siendo una de ellas el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), el cual ha operado estaciones meteorológicas e hidrológicas en todo el país. Otra fuente lo constituye el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), el cual ha operado estaciones meteorológicas e hidrológicas en cuencas de interés hidroeléctrico.

La caracterización de lluvias intensas en períodos cortos de tiempo, requiere de registros continuos de lluvia. Las estaciones que registran continuamente lluvia son muy escasas en la cuenca del río Samalá. Debido a lo anterior es necesario investigar la información existente en cuencas vecinas. Para su uso en el presente documento y como apoyo en posteriores capítulos se puede observar en el apéndice A, la información respecto a las estaciones meteorológicas utilizadas teniendo allí detalles tales como ubicación, cuenca a la que pertenecen, elevación a la que se encuentran, número de años de registro, etc.

3.1. Lluvias diarias:

Entre los estudios para el análisis del régimen de lluvias de una cuenca, se encuentra el análisis de lluvias que ocurren en múltiplos de un día y asociados a diferentes probabilidades de ocurrencia. Este tipo de análisis utiliza registros de lluvias diarias. Una síntesis de este tipo de análisis lo constituyen las familias de curvas de frecuencia para diferentes duraciones. Los resultados de los análisis de frecuencia realizados para las magnitudes de lluvia máxima se presentan para aquellos que ocurren en 1, 2, 3, 5 y 10 días consecutivos. En las siguientes tablas se muestran los resultados numéricos de las curvas de frecuencia que se consideran válidas para las variables de lluvia analizada en las estaciones Labor Ovalle, Retalhuleu, Zunil y Observatorio Santiaguito. En cada uno de los cuadros se muestran las magnitudes de lluvia, en mm, para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 y 1000 años. Para mayor información acerca de la metodología del análisis se hace referencia al documento “Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá, Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED– Programa Santiaguito – Samalá, Enero 2004”.

Tabla V. Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1,2,3,5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), Estación Labor Ovalle, elevación de 2,400 msnm.

Tr	1D	2D	3D	5D	10D
1000	118	236	288	343	416
500	105	199	247	294	354
100	81	137	173	208	249
50	73	117	148	180	216
30	67	105	132	162	196
25	65	102	127	156	189
20	63	97	121	149	181
10	57	84	103	129	159
5	51	74	87	111	140
2	43	60	68	87	116

Nota: D = días.

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

Tabla VI. Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1,2,3,5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), Estación Retalhuleu, elevación de 200 msnm.

Tr	1D	2D	3D	5D	10D
1000	249	261	275	351	490
500	231	252	271	340	479
100	192	229	258	314	448
50	176	218	251	300	433
30	165	209	245	290	421
25	161	206	243	285	416
20	156	201	240	280	410
10	140	187	228	263	390
5	124	168	214	241	366
2	98	134	181	200	319

Nota: D = días.

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

Tabla VII. Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1,2,3,5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), estación Zunil, elevación de 1,900 msnm.

Tr	1D	2D	3D	5D	10D
1000	136	170	233	272	435
500	122	159	209	253	398
100	95	133	162	210	319
50	85	122	145	192	288
30	79	114	134	179	265
25	76	111	130	174	257
20	74	108	125	168	247
10	66	96	111	150	217
5	59	85	98	131	187
2	48	66	79	102	143

Nota: D = días.

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

Tabla VIII. Magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1,2,3,5 y 10 días consecutivos para diferentes períodos de retorno (Tr), estación Observatorio Santiaguito, elevación de 900 msnm.

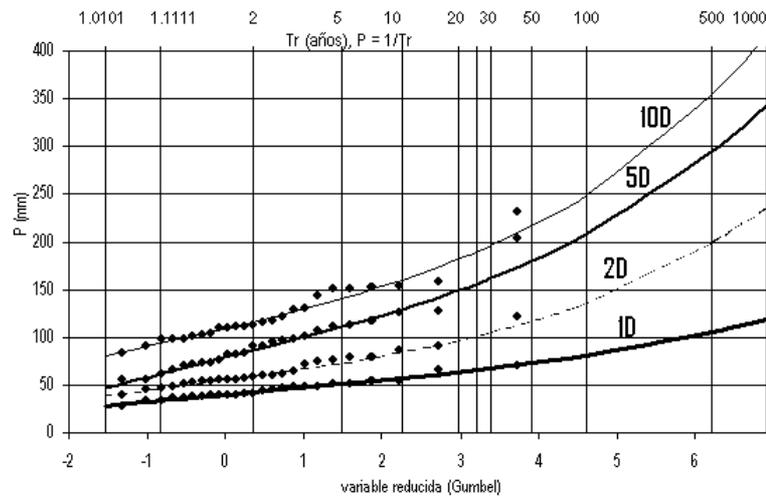
Tr	1D	2D	3D	5D	10D
1000	426	312	499	695	905
500	359	303	481	655	848
100	250	281	434	560	718
50	218	270	410	519	662
30	199	261	391	488	621
25	193	257	384	476	607
20	186	253	375	463	589
10	167	237	344	418	534
5	150	218	306	369	478
2	131	181	234	291	401

Nota: D = días.

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

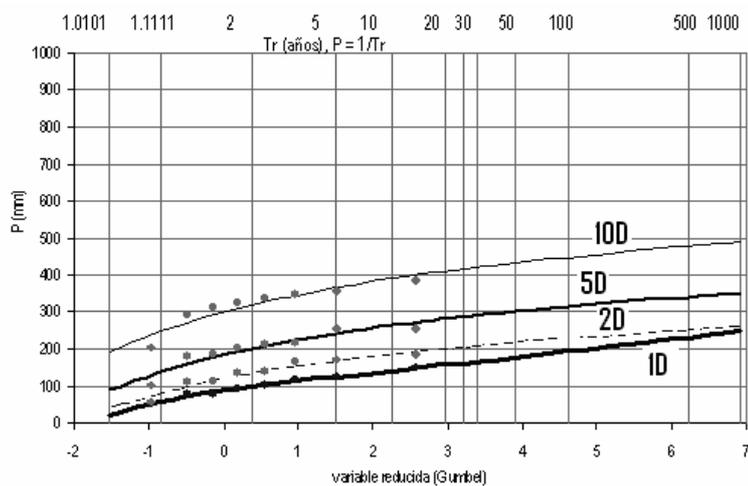
A continuación se muestran gráficamente, los valores observados y las curvas de frecuencias teóricas que se consideran válidas para las variables de lluvia y estaciones indicadas anteriormente.

Figura. 9. Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Labor Ovalle (elevación de 2,400 msnm). Curvas típicas para la región alta de la cuenca del río Samalá.



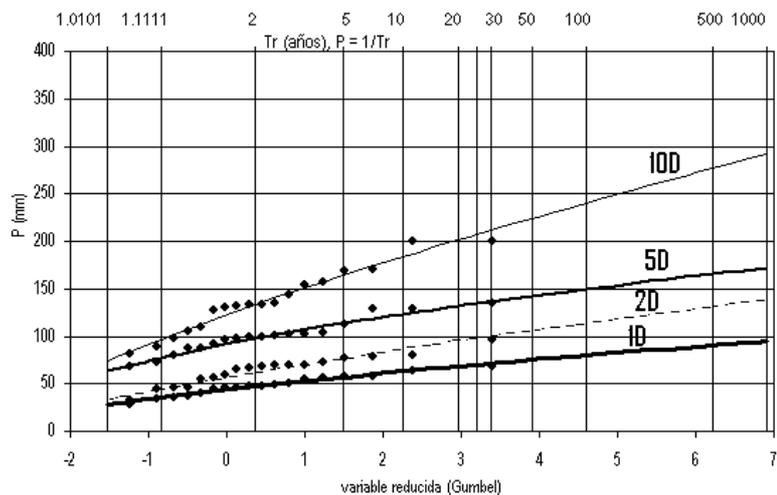
Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

Figura. 10. Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Retalhuleu (elevación de 200 msnm). Curvas típicas para la región alta de la cuenca del río Samalá.



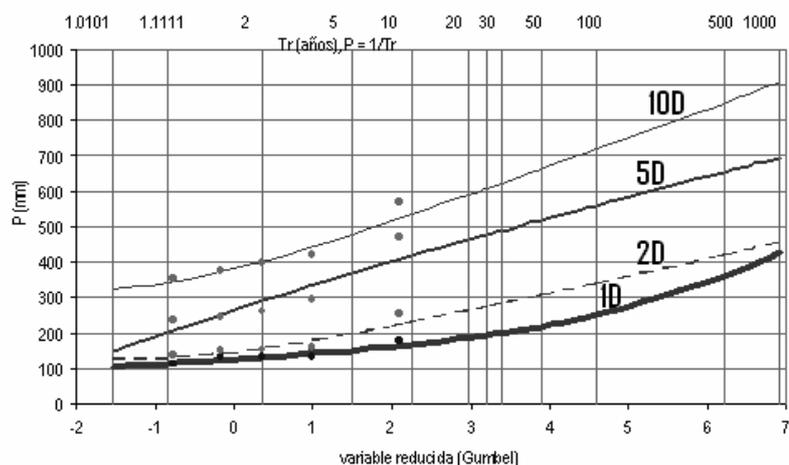
Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004)

Figura. 11. Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Zunil (elevación de 1,900 msnm). Curvas típicas para la región media de la cuenca del río Samalá.



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

Figura. 12. Familia de curvas de frecuencia para eventos de lluvia de diferente duración, para la estación Observatorio Santiaguito (elevación de 900 msnm). Curvas típicas para la región media de la cuenca del río Samalá.



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

La variable de lluvia en tres días consecutivos no se muestra en las gráficas, debido a que la tendencia de las curvas y valores observados respectivos pasan muy cerca de las curvas y valores observados para las variables de dos y cinco días consecutivos. Sin embargo en las tablas respectivas se muestran los valores numéricos de las curvas de frecuencia para 3 días.

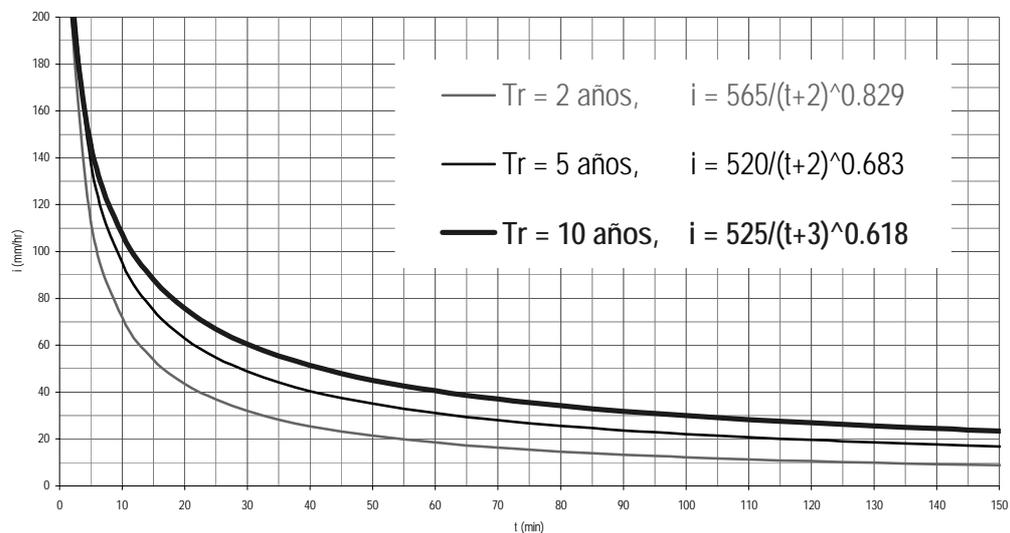
3.2. Lluvias máximas intensas:

Entre los estudios para el análisis del régimen de lluvias de una cuenca, se encuentra el régimen de intensidades de lluvia. Normalmente, este tipo de análisis requiere de eventos de lluvias intensas asociados a una duración y a una frecuencia de ocurrencia. Una síntesis de estas relaciones lo constituyen las familias de curvas de duración-intensidad-frecuencia (DIF) (CONRED,2004). La información básica utilizada para los análisis respectivos fue obtenida de las cartas pluviográficas respectivas proporcionadas

por el INSIVUMEH. La caracterización de lluvias intensas en períodos cortos de tiempo, requiere de registros continuos de lluvia. Las estaciones que registran continuamente la lluvia (pluviógrafos o pluviómetros digitales) son muy escasas en la cuenca del río Samalá, motivo por el cual se necesitó incluir dentro del análisis estaciones de cuencas vecinas. La metodología para la deducción de las curvas DIF consiste, básicamente, en el método estándar de cálculo recomendado por el INSIVUMEH, en el informe técnico No. 4-88. La metodología se explica claramente en el documento “Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá (CONRED, 2004)”.

A continuación se presentan las ilustraciones de las curvas DIF de algunas estaciones, asociadas a tres períodos de retorno: 2, 5 y 10 años. Para la información acerca de las otras estaciones de la cuenca se pueden observar en el apéndice C.

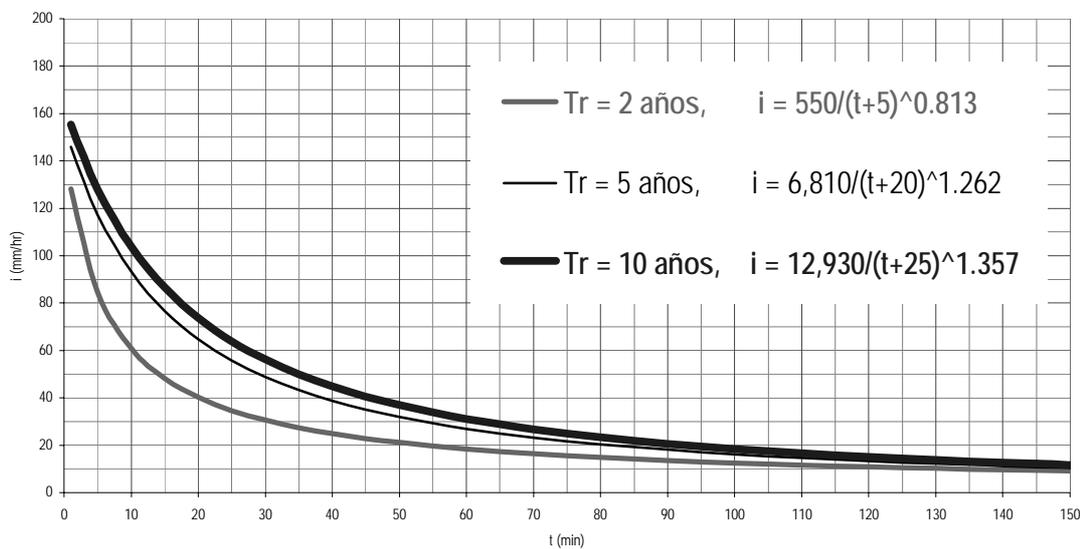
Figura 13. Familia de curvas DIF para la estación Zunil



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004)

Ver datos relacionados en tabla IX.

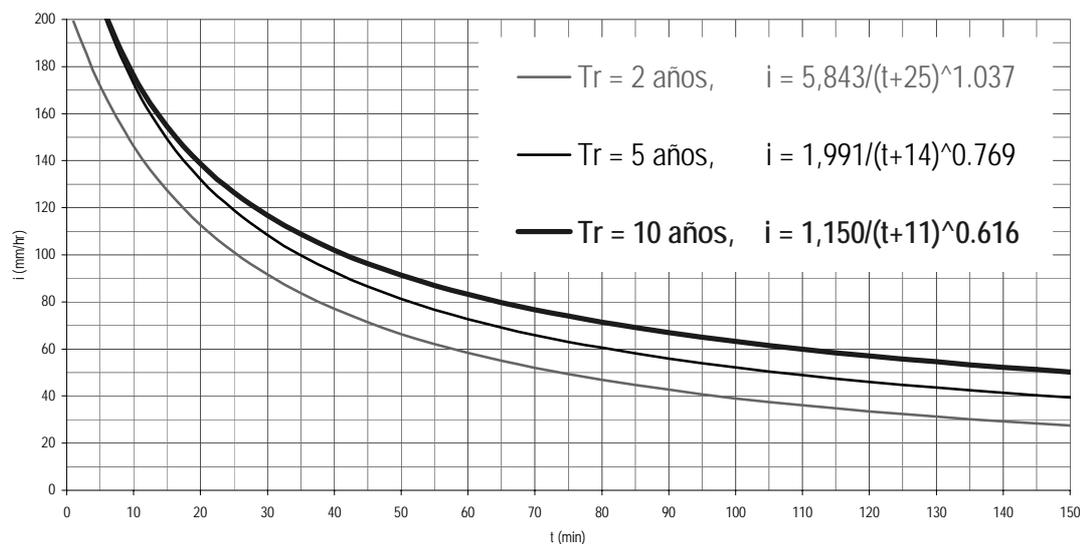
Figura 14. Familia de curvas DIF para la estación Labor Ovalle



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004)

Ver datos relacionados en tabla IX.

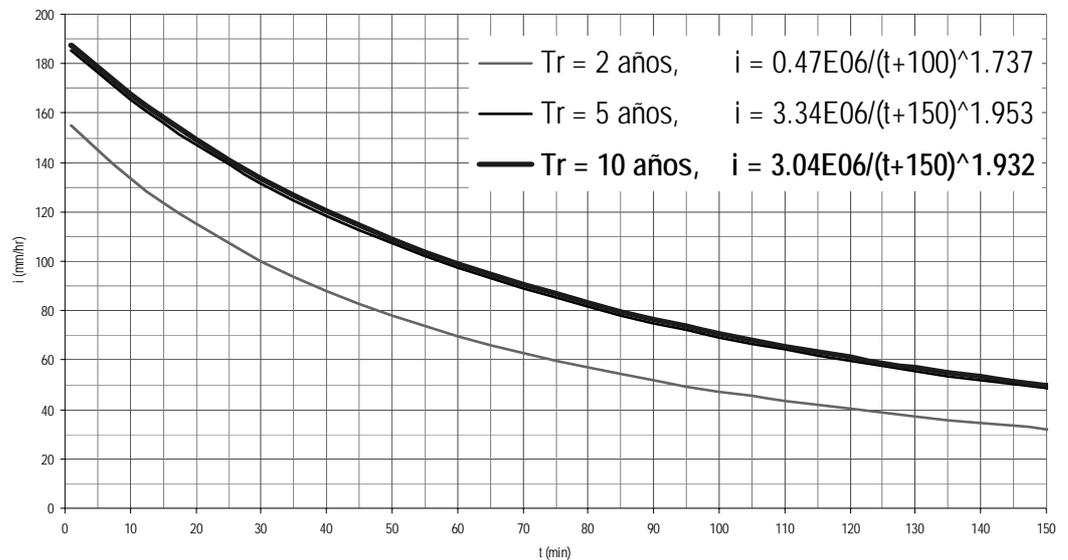
Figura 15. Familia de curvas DIF para la estación Retalhuleu



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004)

Ver datos relacionados en tabla IX.

Figura 16. Familia de curvas DIF para la estación Observatorio Santiaguito



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá**, (CONRED 2004)

Ver datos relacionados en tabla IX.

Como se puede observar en las figuras anteriores de las familias de curvas DIF, y en las del apéndice C, se marca la diferencia entre las estaciones de la parte media de la cuenca, en donde son más intensas las lluvias, tal es el caso de las estaciones Observatorio Santiaguito y Retalhuleu, mientras que en estaciones como Labor Ovalle que corresponden a la parte alta de la cuenca no es así.

A continuación se observa la tabla IX, que muestra los valores de intensidad de lluvia asociadas a los períodos de retorno mencionados, presentados en las gráficas anteriores.

Tabla IX. Magnitudes de intensidad de lluvia asociadas a períodos de retorno de: 2, 5 y 10 años. (ver Figuras 12, 13, 14 y 15).

t	ZUNIL			LABOR OVALLE			RETAL-HULEU			OBSAN		
	i2	i5	i10	i2	i5	i10	i2	i5	i10	i2	i5	i10
5	113	139	144	95	123	127	172	217	222	160	167	168
10	75	94	113	63	95	117	143	163	167	130	152	153
15	54	77	93	51	73	84	124	139	144	120	147	148
20	42	63	73	44	64	73	114	127	132	115	145	147
25	36	53	59	39	56	62	103	121	124	110	142	145
30	33	51	54	33	51	54	92	109	116	95	142	143
35	28	44	53	29	43	47	87	103	109	85	137	138
40	26	39	51	26	39	43	81	98	106	80	132	133
45	22	39	49	24	35	41	73	96	99	75	122	123
50	21	34	48	22	33	36	68	87	97	75	117	118
55	20	34	51	18	28	32	64	79	97	70	107	108
60	19	30	46	17	27	30	59	74	92	70	102	103
65	18	29	43	15	25	29	57	69	92	65	97	98
70	17	29	41	14	23	28	54	67	87	65	92	93
75	15	29	38	13	23	26	49	64	77	65	87	88
80	14	29	36	12	22	24	47	62	77	65	82	83
85	14	27	34	11	21	24	45	58	76	65	77	78
90	14	25	33	11	17	23	42	57	71	65	72	73
95	13	22	29	11	16	19	41	54	66	60	72	73
100	13	19	28	11	15	19	39	54	66	57	72	73
105	12	20	28	11	15	18	38	53	61	55	67	68
110	11	20	24	11	14	17	34	53	61	55	67	68
115	12	20	23	10	13	17	33	53	59	52	67	68
120	12	19	23	10	13	17	31	44	57	35	62	63
125	11	17	23	10	12	14	31	43	56	35	62	63
130	10	17	23	10	11	13	30	43	52	35	57	58
135	10	15	23	10	11	12	29	39	52	35	57	58
140	10	14	19	10	10	12	28	39	52	30	57	58
145	10	14	19	10	10	12	28	39	49	28	42	43
150	10	14	19	10	10	11	27	38	47	27	42	43

Fuente: Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá, (CONRED 2004)

En los puntos tratados anteriormente se hizo mayor énfasis al estudio “Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá, (CONRED 2004)”, pero debido a la necesidad de ampliarlo se presenta de aquí en adelante información que viene a complementar los resultados de dicho estudio.

3.3 Lluvia máxima probable:

La lluvia máxima probable, también conocida como precipitación máxima probable (PMP), es la precipitación asociada con su máximo valor, es decir, que se define teóricamente como la máxima intensidad de precipitación para una duración dada que es físicamente posible sobre una cuenca en particular en un período de tiempo en particular del año. En otras palabras, puede definirse como la precipitación que se produce sobre una cuenca, con riesgo cero de ser excedida, todo esto según la Organización Meteorológica Mundial, WMO de sus siglas en inglés. (WMO,1973).

Los valores encontrados como Precipitación Máxima Probable bajo esta definición están sujetos a cambios de aumento de las condiciones de los procesos atmosféricos. También están sujetos a cambios a largo plazo de las variaciones climáticas, como sería el resultado de los cambios en la intensidad de la radiación solar.

Sin embargo, estas tendencias climáticas progresan muy lentamente de tal forma que su influencia en el cálculo de la precipitación máxima probable es demasiado pequeña y por lo tanto se desprecian.

Los procedimientos para calcular la precipitación máxima probable, pueden ser meteorológicos o estadísticos, obteniendo de ellos como resultado final una aproximación.

El método estadístico para la estimación de la precipitación máxima probable, utiliza todos los datos disponibles de registros de lluvias extremas, y es particularmente utilizado para realizar estimaciones rápidas o bien, cuando los otros métodos no pueden ser aplicados. Cuando se menciona a los otros métodos, se puede hablar de los casos en los que se utiliza la maximización de la humedad y la transposición de las tormentas observadas. Hay veces que se utiliza también la maximización del viento. Otra variación del planteamiento tradicional consiste en la utilización de un modelo orográfico de cálculo, aplicable en las regiones montañosas, método que es dominio de la meteorología (WMO, 1973)

El procedimiento que se explica a continuación no es el único, pero es ampliamente aceptado. Éste es muy utilizado para hacer estimaciones rápidas de cuencas que no sobrepasen los 1,000 km², pero puede ser utilizado para áreas mucho más grandes. Su conveniencia se centra en que requiere considerablemente menos tiempo aplicarlo que cualquier otro método, y para utilizarlo no se requieren conocimientos avanzados sobre meteorología. La mayor limitación que posee es que como resultado, únicamente proporciona valores puntuales de la precipitación máxima probable y es por ello que requiere de ciertos ajustes de estos datos para diversos tamaños de cuencas.

El procedimiento desarrollado por Hershfield, se basa en la siguiente ecuación general:

$$PMP = X_n + K * S_n$$

en donde:

X_n = valor ajustado del registro de lluvias máximas anuales (el promedio). Este valor está ajustado por los coeficientes f_1 y f_2

K = constante calculada de acuerdo al valor de X_n , y en base a la figura 16 con la duración de los valores de lluvia (5min, 1hora, 6 horas y 24 horas).

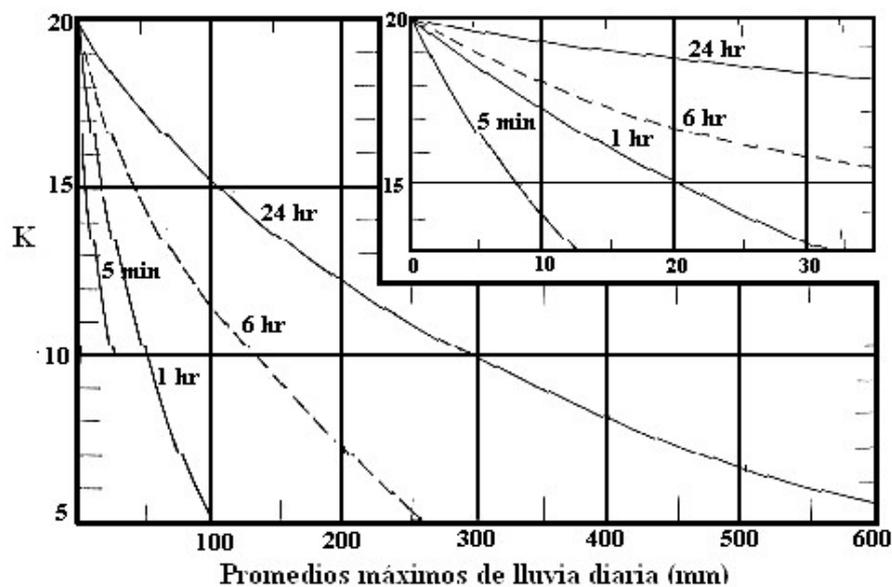
S_n = valor ajustado de la desviación estándar de los registros de lluvias máximas.

Este valor está ajustado por los coeficientes f_3 y f_4

Los valores de los coeficientes de ajuste f_1 , f_2 , f_3 y f_4 se explicarán más adelante.

Para el caso de la cuenca del río Samalá se tomarán en cuenta todas las estaciones que aparecen en el apéndice A, a excepción de las estaciones de Retalhuleu y Observatorio Santiaguito, por no contener suficientes años de registro de lluvias por lo que no se puede aplicar en dichas estaciones el método estadístico. Para el cálculo de la PMP, se aplica para lluvia en 24 horas, datos que se obtienen al multiplicar los valores de la lluvia diaria máxima por un factor de 1.13 (INSIVUMEH, 1980). Estos valores ya calculados aparecen en el apéndice B. El factor K que se utiliza en la fórmula de PMP se deduce de la gráfica de la figura 17, y se obtiene en relación al valor promedio (X_n) de los máximos valores de lluvia diaria para cada estación.

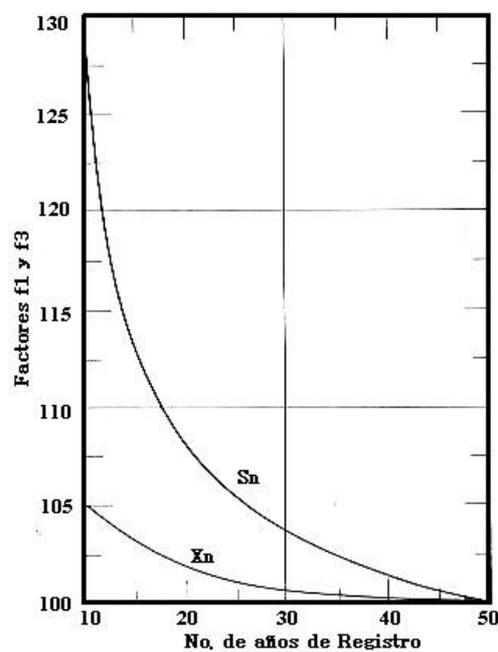
Figura 17. K en función de los valores máximos promedios de precipitación y de la duración de la precipitación.



Fuente: WMO, 1973.

Para hallar los factores de ajuste f_1 y f_3 , se deduce de la gráfica de la figura 18, donde dependiendo del número de años de registro de cada estación, se hacen coincidir con las curvas de la desviación estándar y el promedio de lluvias máximas respectivamente .

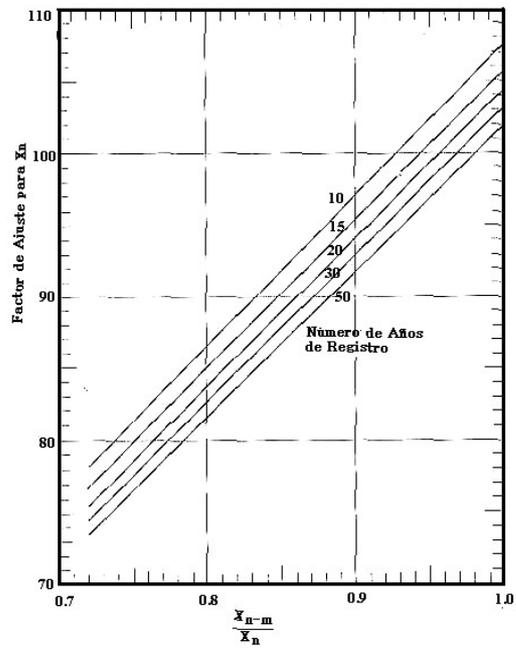
Figura 18. Factores de ajuste f_1 y f_3 , en relación al número de años de registro



Fuente: WMO, 1973.

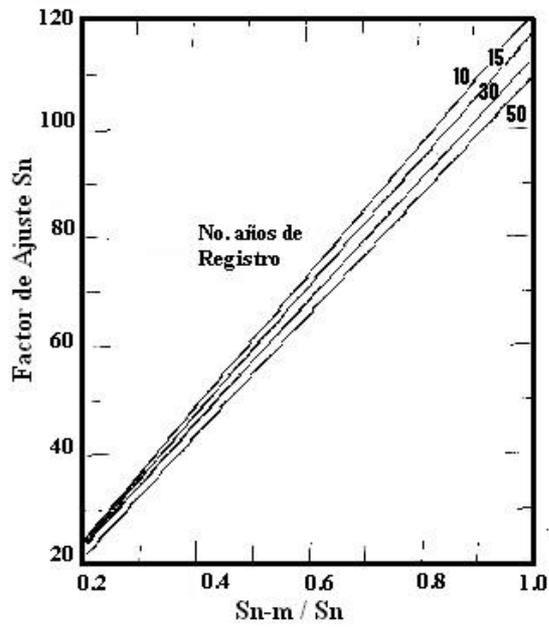
Los factores f_2 y f_4 se obtienen calculando primero los nuevos valores de X_n y S_n , en los cuales, se elimina el valor más alto de los datos de registro y se calculan los valores anteriores nuevamente siendo estos X_{n-m} y S_{n-m} ; estos valores se dividen entre X_n y S_n respectivamente. Con los nuevos valores X_n y S_n y con la ayuda de las gráficas de las figuras 19 y 20 que aparecen en la siguiente página, se determinan finalmente los valores para f_2 y f_4 .

Figura 19. Factor de Ajuste f_2 , en relación al nuevo valor para X_{n-m}



Fuente: WMO, 1973.

Figura 20. Factor de Ajuste f_4 , en relación al nuevo valor para S_{n-m}



Fuente: WMO, 1973.

Ya completos los datos anteriores se procede al cálculo de los datos de la precipitación máxima probable para cada estación de la siguiente manera:

$$PMP = (f_1 f_2 X_n + f_3 f_4 K S_n) f_5 f_6$$

Como se observa en la fórmula los factores de ajuste f_1 y f_2 se multiplican por el valor promedio de las máximas lluvias diarias de cada estación (X_n) y los factores de ajuste f_3 y f_4 son multiplicados por la desviación estandar que a su vez se multiplica por el factor K .

Finalmente tomando en cuenta el número de lecturas al día se introduce el factor f_5 y por transición de lluvia puntual a un área el factor f_6 . Estos para efectos de este estudio se toman con un valor de 1, lo cual no afecta el resultado final.

En la siguiente tabla se resumen los valores encontrados para el cálculo de la precipitación máxima probable y los resultados obtenidos en cada estación.

Tabla X. Valores de PMP en mm de las estaciones indicadas.

	CANTEL CON.	CHIQUIRICHAPA	PATZULIN	SAINT JOAN	LABOR OVALLE	PACHUTE	ESTANCIA LA VIRGEN	RECDO. A BARRIOS	SAN MIGUEL SIGUILA	ZUNIL II	LAS DELICIAS	EL TAMBOR	CHOJOJA VILLA SAN CARLOS	LA PAZ	
Xn	47,7	48,1	149,6	141,2	44,5	51,2	58,0	53,7	62,7	49,9	130,2	155,8	109,2	130,0	133,1
Sn	18,1	10,6	52,6	37,7	9,9	21,4	20,1	13,7	20,1	12,7	32,6	39,2	35,2	34,9	48,7
K	17,5	17,5	13,5	13,8	17,5	17,5	17,0	17,5	17,0	17,5	14,0	13,5	14,9	14,0	13,7
N A R	18,0	18,0	34,0	19,0	25,0	26,0	19,0	19,0	11,0	23,0	30,0	10,0	26,0	21,0	28,0
f1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0
f3	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1	1,1	1,0
Xn-m/Xn	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Sn-m/Sn	0,6	0,9	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,7
f2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
f4	0,7	1,0	0,8	1,1	1,0	0,7	1,0	1,1	1,1	1,0	0,9	1,1	1,0	1,1	0,9
PMP	272	261	731	747	221	341	413	332	536	296	534	919	685	687	726

Como se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos de la precipitación máxima probable para cada una de las estaciones, es simplemente una aproximación, y no importando el método que se utilice, ya sea éste meteorológico o estadístico, las aproximaciones pueden ofrecer varias estimaciones de un valor real de la PMP.

En los resultados obtenidos de dicha aproximación se observa que estaciones como Concepción Chiquirichapa o Labor Ovalle registran los valores más bajos de PMP en la tabla X, y corresponden a la parte alta de la cuenca, mientras que la estación El Tambor o la estación La Paz, tienen valores altos de PMP y se encuentran en la parte media de la cuenca, marcando diferencia entre estas dos zonas de la misma.

3.4 Distribución espacial de lluvias:

Se puede observar en los datos obtenidos en el análisis de lluvia máxima diaria en las estaciones meteorológicas, que se distinguen dos regímenes de lluvias distintas para la cuenca del río Samalá. Una región correspondiente a las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca y una región que corresponde a las estaciones ubicadas en la parte media de la misma. Para poder mostrar claramente lo anterior, se presentan a continuación algunas ilustraciones donde se observan estas diferencias entre ambas regiones. Para tal efecto se utilizaron las estaciones Cantel, Patzulin, Pachute, Recuerdo a Barrios, Las Delicias, Chojoja, Villa San Carlos, Labor Ovalle, Zunil, Observatorio Santiaguito y La Paz, como se puede observar algunas estaciones no necesariamente pertenecen a la cuenca principal del río Samalá sino que a cuencas vecinas. Además, para la parte baja de la cuenca no se cuenta con registros, por lo que no aparecen isoyetas dibujadas.

En las ilustraciones se presentan los datos de la distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima de 1 y 2 días consecutivos, para períodos de retorno de 2 y 5 años respectivamente.

Figura 21. Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1 día consecutivo y período de retorno $Tr = 2$ años.

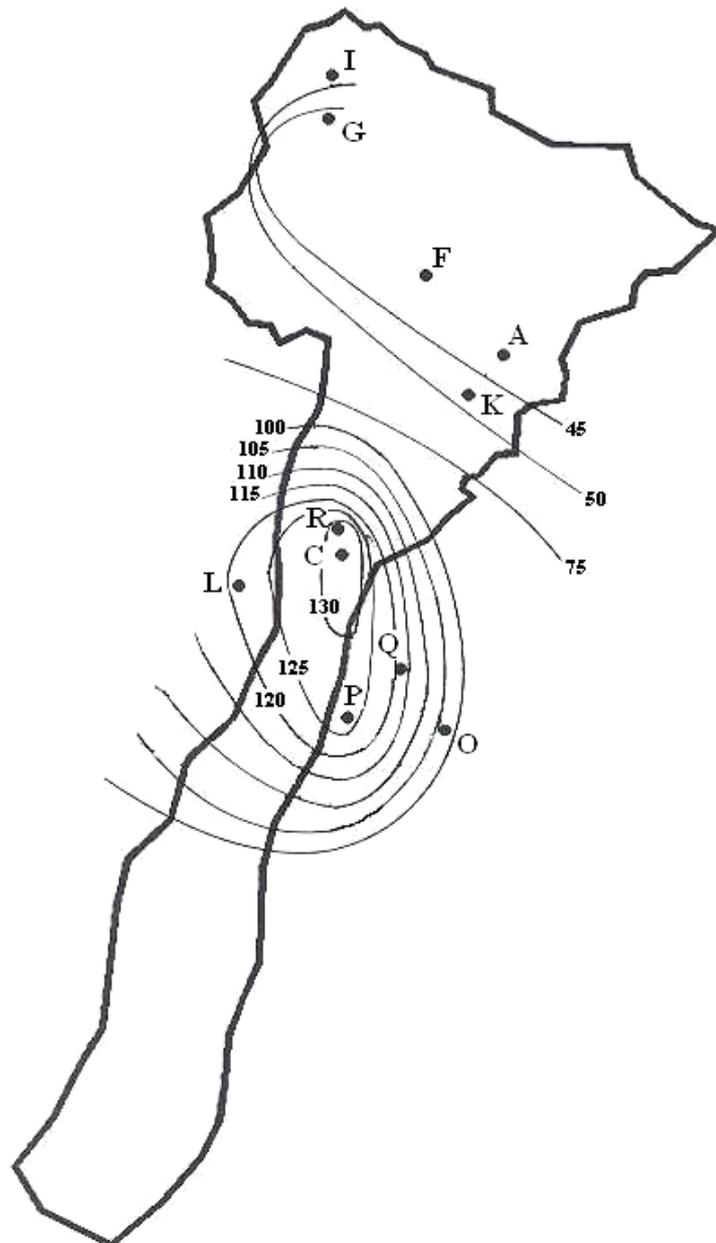


Figura 22. Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 2 días consecutivo y período de retorno $Tr = 2$ años.

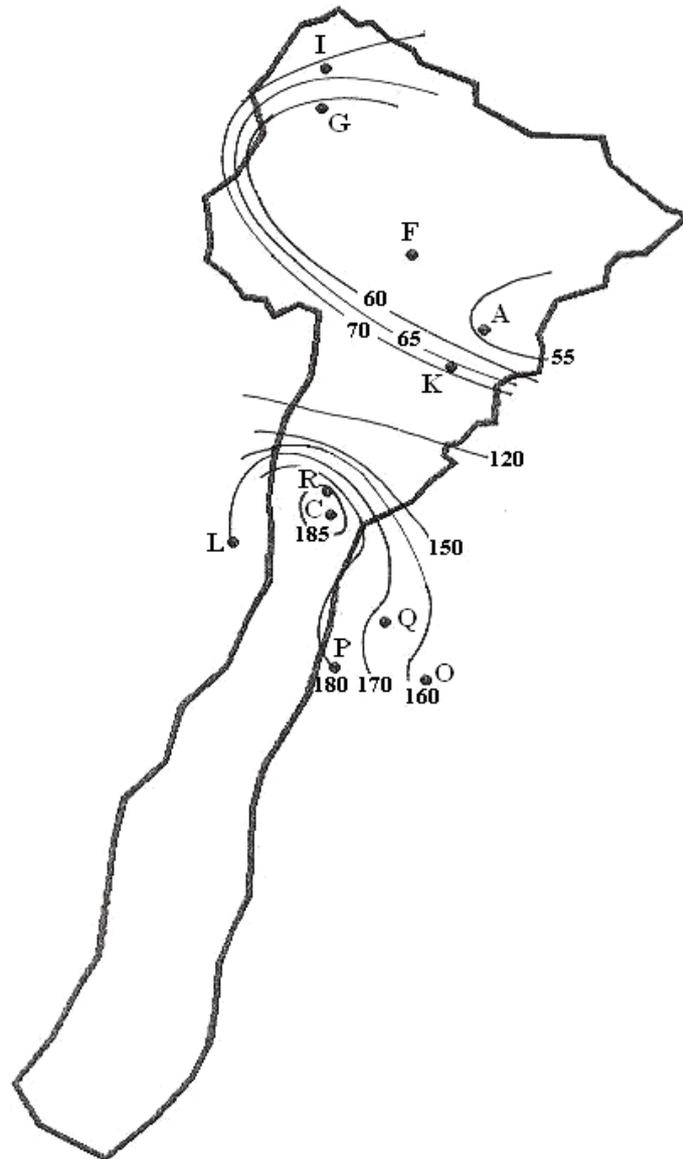


Figura 23. Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 1 día consecutivo y período de retorno $Tr = 5$ años.

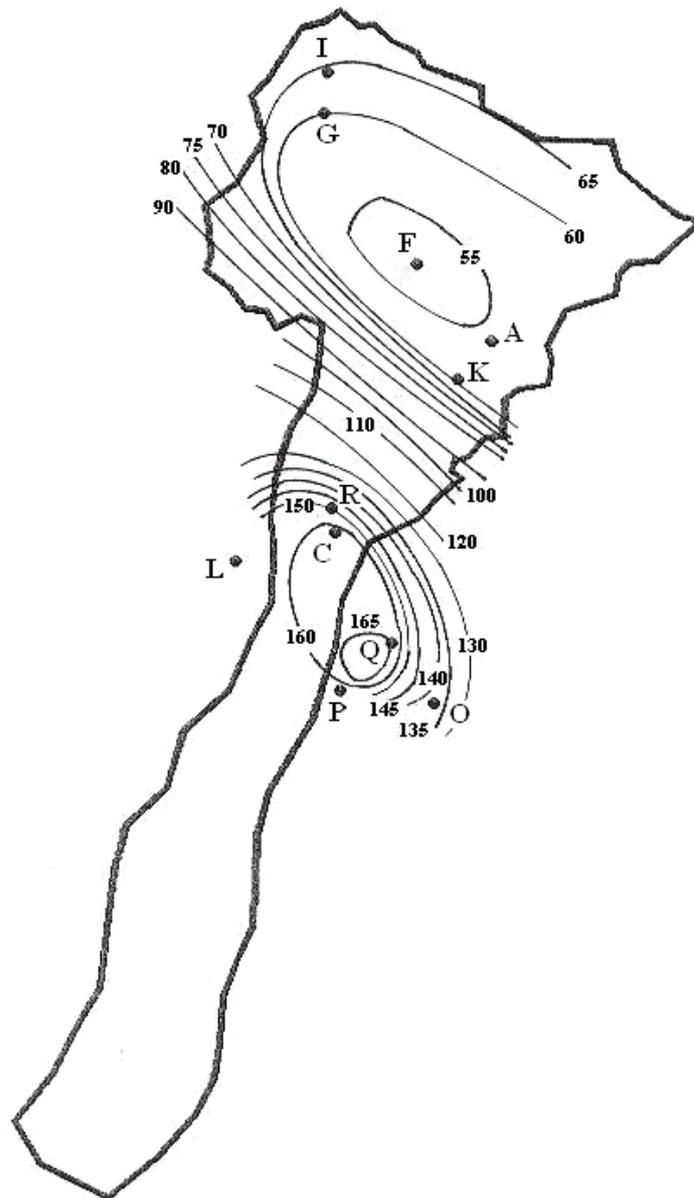
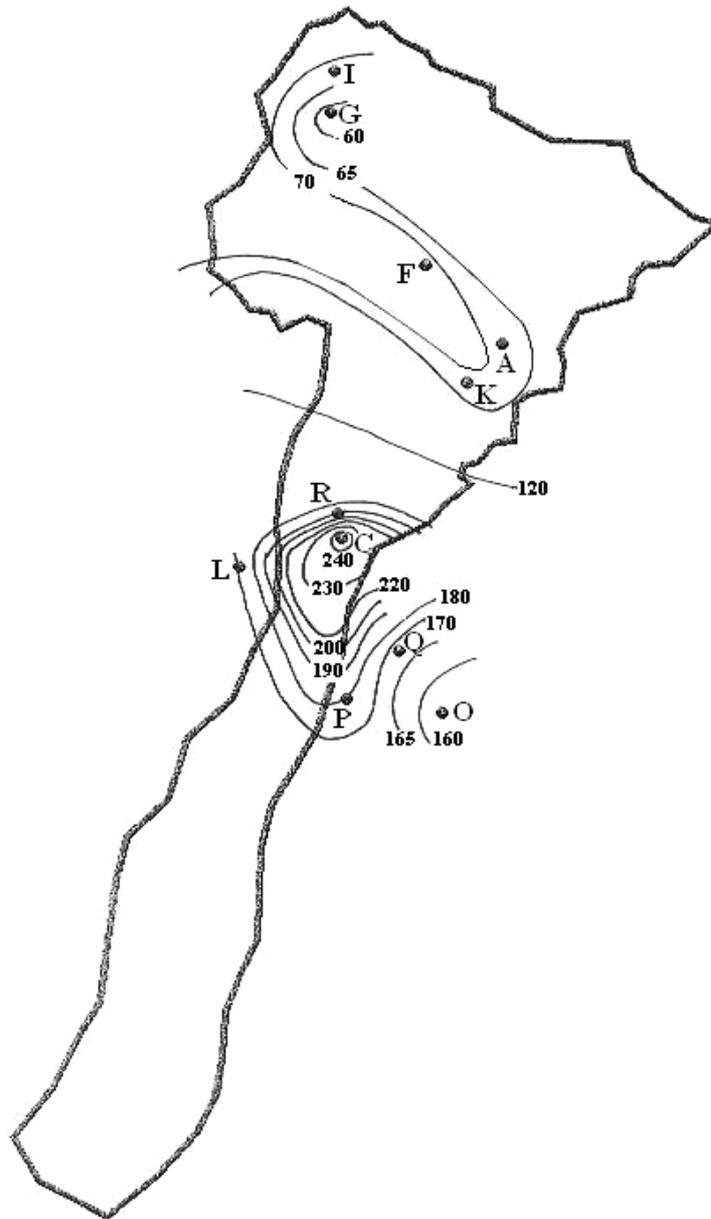


Figura 24. Distribución espacial de lluvias para magnitudes de lluvia máxima (mm) de 2 días consecutivo y período de retorno $Tr = 5$ años.



4. MODELOS LLUVIA ESCORRENTÍA

4.1 Estimación de lluvia efectiva:

La precipitación efectiva es la parte de la precipitación que produce escorrentía superficial directa. Uno de los métodos más populares para determinarla es el del SCS (Servicio de Conservación de Suelos).

Aunque se disponga del hidrograma unitario de una cuenca, no se puede evaluar el hidrograma que producirá una precipitación determinada si primero no se sabe separar qué parte de esa precipitación va a generar escorrentía directa (precipitación neta o efectiva). El resto de la precipitación se ha infiltrado (una pequeña parte puede haber quedado retenida en depresiones superficiales). Básicamente la escorrentía superficial resultante de una precipitación dada es igual a la parte de la lluvia no consumida en:

- 1) la interceptación y almacenamiento de depresiones
- 2) la evaporación durante la llovizna y
- 3) la infiltración.

El cálculo de la precipitación efectiva puede abordarse a partir del estudio de la infiltración: medidas, ecuaciones y modelos que reflejan la capacidad de infiltración y su evolución en el tiempo.

Para el presente estudio se realizan análisis en diferentes puntos de la cuenca del río Samalá, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XI. Puntos de control para la cuenca del río Samalá.

LUGAR	NOMBRE	ÁREA (km2)
1	Cantel	701
2	Túnel	709
3	Candelaria	861
4	Samalá1	872
5	Samalá2	960
6	Samalá3	972
7	Nimá	88

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá**, (CONRED 2004)

Adoptando la hipótesis de que el suelo retiene una cierta cantidad de lluvia caída al principio de un evento de lluvia (abstracción inicial) y después de eso, el porcentaje de precipitación que genera escorrentía va aumentando con el tiempo, es decir, que en cada intervalo de tiempo se genera escorrentía y en proporción creciente.

El procedimiento que estableció empíricamente el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, se ajusta a la idea explicada en el párrafo anterior. Basándose en esto se procede al cálculo de la Precipitación Neta o Efectiva (P_n), para los puntos en estudio, como sigue:

Primero se procede a realizar el cálculo de la abstracción inicial (P_o), el cual es un dato que aparece tabulado en función del uso del suelo (bosque, cultivo, etc.), de la pendiente y del tipo de suelo (A,B, C o D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable).

En base a lo observado en el campo durante las diferentes visitas al área de las cuencas y a mapas de cobertura, la estimación de este dato se basa principalmente considerando cuatro tipos de cobertura, indicados en la siguiente tabla.

Tabla XII. Factores de ponderación en función del área de cobertura de cada uso indicado en cada punto de control de la cuenca del río Samalá y Po ponderado para cada punto.

Po	URBANO 80	CULTIVO1 51	CULTIVO2 60	BOSQUE1 30	BOSQUE2 38	Po PONDERADO
Cantel	0.10	0.70		0.20		50
Túnel	0.08	0.63	0.10	0.14	0.05	51
Candelaria	0.05	0.60	0.05	0.10	0.20	47
Samalá1	0.05	0.60		0.10	0.25	47
Samalá2	0.02	0.40	0.05	0.20	0.33	44
Samalá3	0.02	0.40	0.05	0.20	0.33	44
Nimá		0.05	0.15	0.20	0.60	40

Cultivo1: cultivos de grano pequeño y hortalizas

Cultivo2: cultivos de granos básicos

Bosque1: bosques en suelos de muy buena capacidad de infiltración

Bosque2: bosque, principalmente de hoja ancha en suelos de buena capacidad de infiltración.

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá (CONRED, 2004).**

Luego se procede a calcular la precipitación o lluvia de diseño. La lluvia escogida fue el evento que ocurre con una duración de 24 horas. La precipitación diaria no necesariamente es igual a un evento de 24 horas de duración. En Guatemala se usa un factor de conversión de lluvia diaria a un evento de 24 horas, siendo este 1.13 (CONRED, 2004). Todo esto debido a la disponibilidad limitada de datos. La deducción de la tormenta de diseño se basa en el análisis de frecuencia de lluvia diaria máxima y de las estaciones, y sus respectivas magnitudes de lluvia asociadas a diferentes períodos de retorno, que se estiman tienen influencia. Estos datos se encuentran tabulados y calculados en el estudio Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá.

La lluvia máxima con 24 horas de duración, para diferentes períodos de retorno, sobre cada una de las cuencas en estudio se muestran a continuación en la tabla XIII.

Tabla XIII. Lluvia máxima (mm) sobre las cuencas indicadas, de 24 horas de duración, y para los períodos de retorno (Tr) indicados.

Tr	Cantel	Túnel	Candelaria	Samalá1	Samalá2	Samalá3	Nimá
500	162	164	200	207	246	257	359
100	121	123	154	161	193	205	295
50	107	109	137	144	173	185	269
30	97	99	125	132	160	171	250
10	79	80	103	108	132	143	211
5	68	69	90	94	116	126	185
2	55	55	71	75	93	101	147

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004)

Obtenidos estos eventos de lluvia máxima media (mm), se aplica la siguiente fórmula para calcular la precipitación neta o efectiva (Pn):

$$Pn = \frac{(Pm - Po)^2}{Pm + 4Po}$$

donde Pn es la precipitación neta o efectiva, Pm es la precipitación media máxima y Po es la abstracción inicial , obtenida en la primera parte del cálculo.

Es así como se obtienen los datos de la tabla XIV, donde se muestran lo valores de lluvia efectiva, para las cuencas dadas en los períodos de retorno dados.

Tabla XIV. Valores de precipitación neta o efectiva (mm) calculados para las cuencas en estudio y para los períodos de retorno indicados.

Tr	Cantel	Túnel	Candelaria	Samalá1	Samalá2	Samalá3	Nimá
500	34.7	34.7	60.3	64.8	96.7	104.8	196.1
100	15.7	15.9	33.5	37.2	60.2	68.0	142.9
50	10.6	10.8	24.9	28.3	47.7	55.1	122.2
30	7.4	7.6	19.4	22.6	40.1	46.5	107.6
10	3.0	3.0	10.8	12.5	25.1	30.7	78.8
5	1.2	1.2	6.7	7.8	17.8	22.3	60.9
2	0.1	0.1	2.2	3.0	8.9	11.7	37.3

4.2. Tiempo de concentración de la cuenca:

Uno de los pasos previos para la estimación de un hidrograma resultante de una cuenca es calcular su tiempo de concentración. Esto se puede hacer por varios métodos, pero lo más sencillo es la utilización de fórmulas que proporcionan una aproximación de este dato.

Por ejemplo, según la fórmula de Kirpich:

$$T_c \text{ [minutos]} = 3.97 * (L^{0.77} / S^{0.385})$$

donde, T_c es el tiempo de concentración de la cuenca, L es la longitud del cauce en km y S es la pendiente media en m/m.

Está también la siguiente,

$$T_c \text{ [horas]} = 0.3 (L / S^{1/4})^{0.77}$$

donde, L es la longitud del cauce en km y S es la pendiente media en m/m.

Además existen otras, tales como la de Bransby Williams, que se indica a continuación:

$$T_c \text{ [minutos]} = 14.6 * L * A^{-0.1} * S^{-0.2}$$

donde, L es la longitud del cauce en km, A es la superficie de la cuenca en km^2 y S es la pendiente media en m/m.

Los resultados de estas fórmulas difieren unas de otras, cada una de ellas fue obtenida pensando en unas cuencas de características determinadas. Por lo tanto deben manejarse con precaución.

Por ejemplo, para el caso de las subcuencas del río Samalá mencionadas anteriormente en la sección 4.1, utilizando la fórmula de Kirpich, se obtienen los resultados mostrados en la tabla XV, correspondientes a los tiempos de concentración (T_c) de las cuencas en estudio:

Tabla XV. Tiempo de concentración, T_c en minutos correspondientes a las cuencas en estudio.

SITIO	T_c (min)
CANTEL	300
TUNEL	330
CANDELARIA	360
SAMALA 1	390
SAMALA 2	390
SAMALA 3	412
NIMA	115

4.3. Mapa de isolíneas:

La técnica de isolíneas es una de las más importantes en cartografiado cuantitativo, y proporciona buena parte del volumen de mapas temáticos que se producen.

Como el análisis de lluvias es un fenómeno que presenta en ciertos puntos de estudio de la cuenca del río Samalá valores semejantes a la altitud sobre el nivel del mar, resulta adecuado utilizar el principio de las curvas de nivel para su representación,

uniendo todos aquellos puntos en donde la variable tome el mismo valor obteniendo las líneas isométricas correspondientes.

Las curvas que se representan en el mapa son las que separan zonas de distintos valores característicos de la distribución, y que se llaman isolíneas, de donde se le da el nombre a esta técnica cartográfica, la cual es la más adecuada para la representación de distribuciones continuas, y es por tanto la herramienta fundamental para la creación de mapas relacionados con la meteorología. Es importante destacar que en la confección de este tipo de mapas, la representación total ha de obtenerse a partir de un número limitado de observaciones y que el dibujo de las isolíneas procede por lo tanto de interpolación.

Para empezar, en el presente caso se eligen como datos de análisis, los valores de precipitaciones máximas probables (PMP), para todas las estaciones consideradas en la sección 3.3 y que tienen datos suficientes para calcular dicho valor.

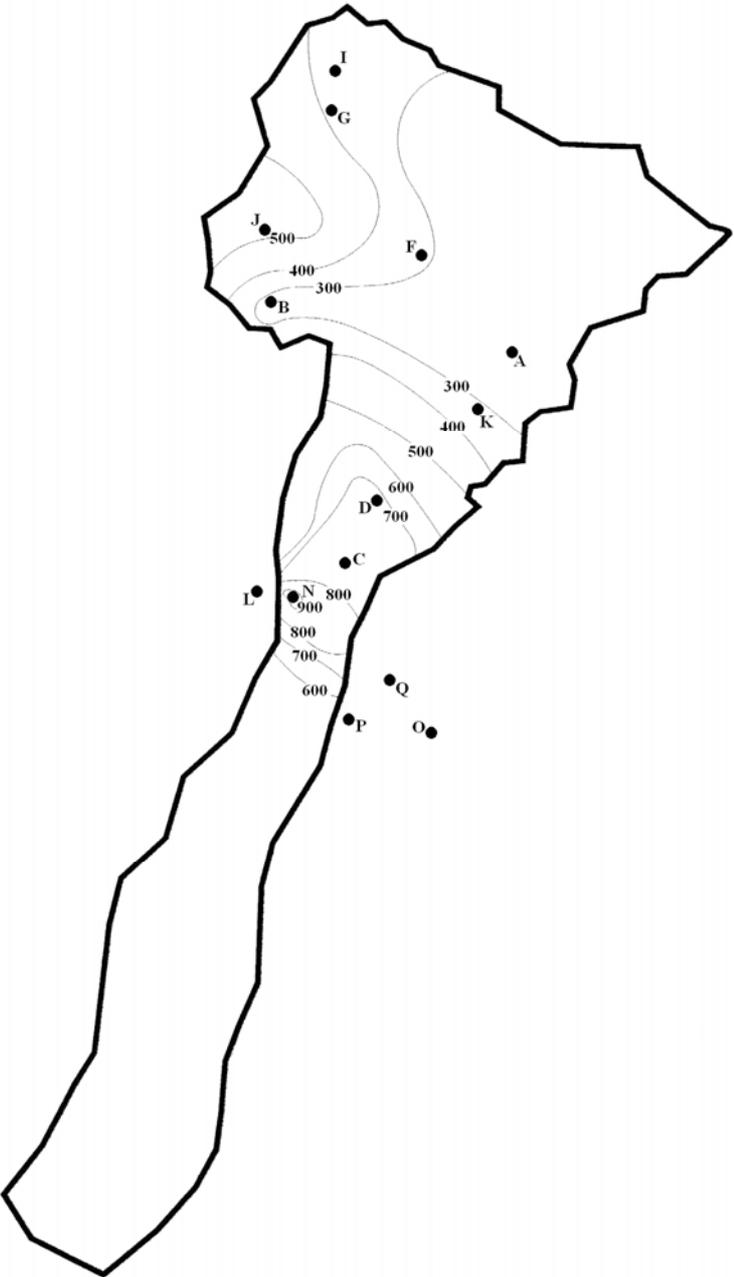
De forma general los pasos a seguir para la confección de un mapa mediante esta técnica son los siguientes:

- Observación del dato en una serie de puntos (estaciones meteorológicas)
- Inferencia de valores al resto de la zona (interpolación)
- Selección de intervalos
- Diseño del mapa: líneas, rótulos, si se quiere agregar colores, etc.

El número de puntos de control, sus localizaciones y el modelo de interpolación seleccionado (para este caso lineal, en otros, como densidad de población puede ser curvilíneo), son tres factores determinantes, que afectarán conjuntamente la exactitud del trazado de las isolíneas. En el caso del número de puntos de control (estaciones meteorológicas), es importante ya que a mayor cantidad se tendrá una mayor exactitud y también cabe destacar que sobrepasado un cierto límite no existe mejora en la calidad de

lo representado. En la siguiente figura se muestra el resultado final del diseño del mapa de isolíneas respecto a los valores calculados de PMP.

Figura. 25. Mapa de Isolíneas que representa los valores de PMP de las estaciones indicadas.



Como ventajas principales de un mapa de isolíneas se destacan por ejemplo que muestra la distribución total de la variación espacial de un fenómeno (en este caso la PMP de las estaciones en estudio). Por otro lado, se adapta fácilmente a distintos niveles de precisión y detalle, por lo que se puede considerar como un sistema flexible.

4.4. Hidrograma unitario sintético del SCS:

Para tener una idea aproximada de la respuesta de una cuenca pequeña a unas precipitaciones cortas y homogéneas, se pueden utilizar algunas fórmulas empíricas que basándose en características físicas de la cuenca (superficie, pendiente media, longitud del cauce, etc.), proporcionan una idea del hidrograma resultante. Dentro de estas aproximaciones se encuentra la del SCS (Servicio de Conservación de Suelos). El paso previo es calcular el Tc, luego se pueden empezar a calcular los caudales pico mediante el método del hidrograma paramétrico del SCS. Utilizando los valores de Tc hallados anteriormente (sección 4.2), y calculando el Tp (Tiempo al pico del hidrograma) como el 70% del Tc, se pueden tomar como base las siguientes características para cada punto en estudio:

Tabla XVI. Características morfométricas de los puntos de control

SITIO	Hmax(msnm)	Hmin(msnm)	H(m)	L(km)	S(-)	Tc(min)	Tp(min)
CANTEL	3100	2455	645	44.8	1.44	300	210
TUNEL	3100	1795	1305	56.5	2.31	330	231
CANDELARIA	3100	720	2380	70.7	3.37	360	252
SAMALA1	3100	498	2602	77.1	3.38	390	273
SAMALA2	3100	498	2602	77.1	3.38	390	273
SAMALA3	3100	342	2758	84.4	3.27	412	288
NIMA	3180	498	2682	25.2	10.64	115	81

Hmax, Hmin: Elevación máxima y mínima

H,S y L: Diferencia de elevación, longitud y pendiente media del cauce principal.

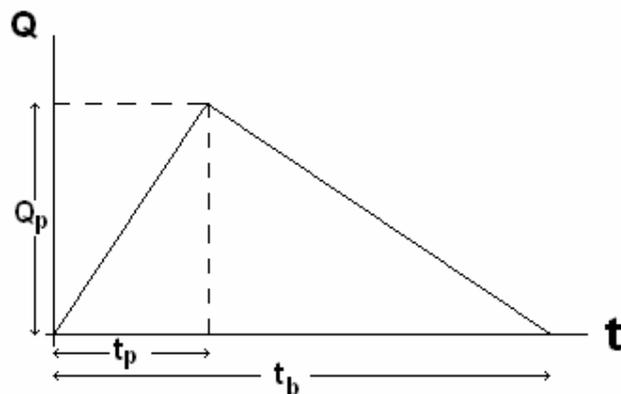
Tc: Tiempo de concentración en minutos

Tp: Tiempo al pico de las cuencas (70% del Tc respectivamente).

Fuente: Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá, (CONRED 2004)

Con los datos anteriores se procede a aplicar el método del hidrograma paramétrico del SCS, que consiste en encontrar los caudales pico y con estos datos el tiempo base y el tiempo al pico del hidrograma, pudiendo dibujar un hidrograma triangular del SCS, el cual simplifica la forma del hidrograma, con la forma de un triángulo, el cual se puede apreciar en la figura 26, lo que a pesar de su simplicidad, proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: el caudal pico (Q_p), el tiempo base (t_b) y el tiempo en que se produce el caudal pico (t_p).

Figura 26. Forma del Hidrograma triangular del SCS.



Al disponer de la información de los datos de la punta del hidrograma (sus coordenadas: t_p y Q_p), con los factores de la tabla XVII que aparece a continuación en la siguiente página, se puede dibujar el hidrograma resultante en toda su extensión y con una forma similar a la que se puede esperar en una cuenca real, en lugar de un triángulo geométrico, esto, multiplicando cada factor por los valores de las coordenadas de la punta del hidrograma, para poder encontrar las coordenadas de cada punto a lo largo del hidrograma.

Tabla XVII. Factores para obtener el hidrograma Adimensional del SCS.

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0.0	0	0.7	0.77	1.4	0.75	2.6	0.13
0.1	0.015	0.8	0.89	1.5	0.65	2.8	0.098
0.2	0.075	0.9	0.97	1.6	0.57	3.0	0.075
0.3	0.16	1.0	1.00	1.8	0.43	3.5	0.036
0.4	0.28	1.1	0.98	2.0	0.32	4.0	0.018
0.5	0.43	1.2	0.92	2.2	0.24	4.5	0.009
0.6	0.60	1.3	0.84	2.4	0.18	5.0	0.004

Fuente: Leonardo Nania, **Métodos de transformación lluvia-escorrentía y de propagación de caudales**, consultado en www.puertoscostas.com/pyc/html/docente/apuntes/Transformaci_2003.pdf

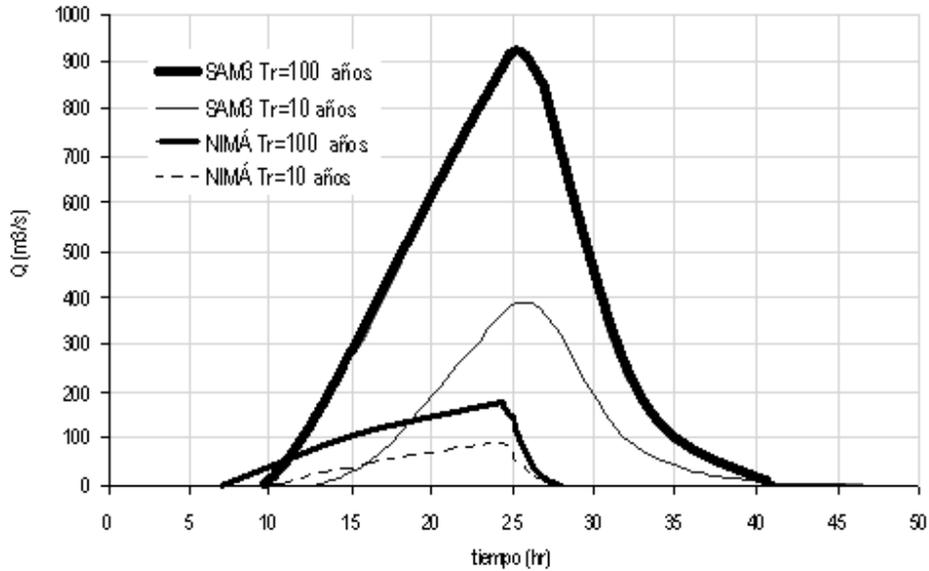
A continuación se presentan los resultados de los cálculos realizados para cada uno de los eventos de lluvia presentados en la tabla XIII (sección 4.1), esto es, los caudales pico asociados a diferentes períodos de retorno, obtenidos a través de la metodología del hidrograma paramétrico del SCS. En la tabla XVIII solamente se muestra el caudal pico resultante, y en la figura 27 se presentan gráficamente los hidrogramas, para períodos de retorno de 10 y 100 años para el río Nimá en su confluencia con el río Samalá, y para el río Samalá, a la altura del puente de la CA2. (CONRED, 2004).

Tabla XVIII. Caudales pico asociados a diferentes períodos de retorno y para cada sitio indicado.

Tr	CANTEL	TUNEL	CANDELARIA	SAMALA1	SAMALA2	SAMALA3	NIMA
100	311	327	531	570	809	924	174
50	226	241	400	437	632	739	148
30	170	184	314	349	522	616	130
20	134	146	260	286	434	532	116
10	82	88	172	192	306	388	93
5	39	45	104	116	202	266	70
2	33	36	75	84	117	147	50

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá**, (CONRED 2004)

Figura 27. Hidrogramas para los sitios y Tr indicados.



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá** (CONRED, 2004).

4.5. Crecida máxima probable:

Se puede definir, una crecida máxima probable como el estimado de la crecida hipotética (caudal pico, volumen y forma del hidrograma) que es considerada la más severa “razonablemente posible” en una particular ubicación y período del año, basado en un análisis hidrometeorológico relativamente amplio de la escorrentía crítica que se produce por la precipitación y factores hidrológicos favorables para la escorrentía por una crecida máxima (CNEE, 1999).

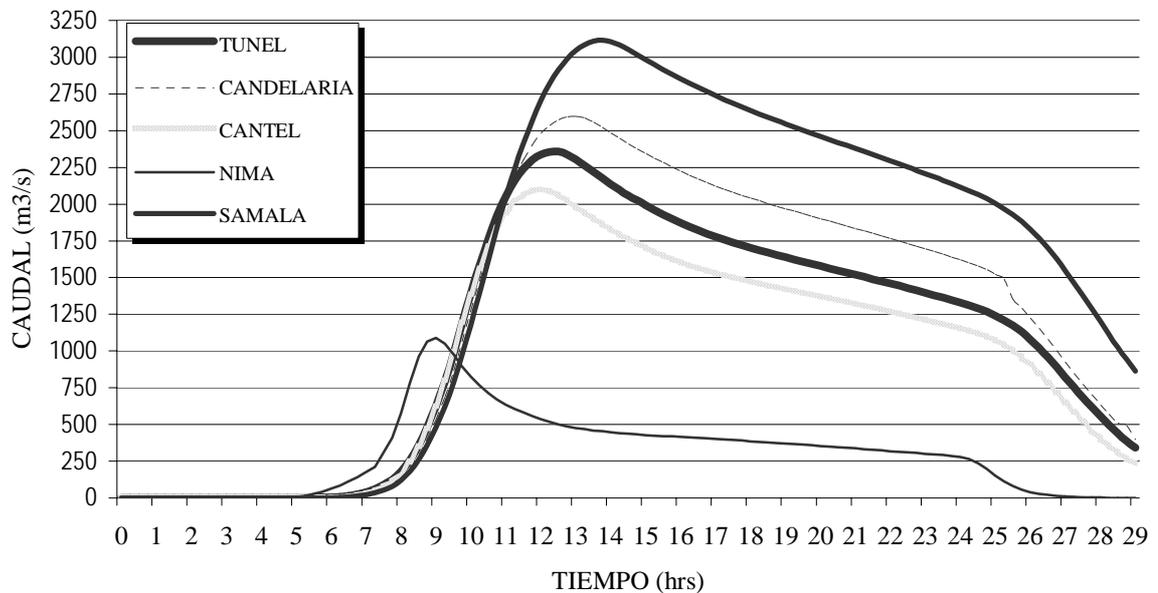
El modelo HMS (Hydrological Modeling System, de sus siglas en inglés) es un programa de simulación hidrológica desarrollado para estimar caudales máximos y tiempos al pico, en una cuenca o varias subcuencas a partir de condiciones extremas de lluvias. Entre sus módulos, existe uno para la estimación de hidrogramas como respuesta a eventos de lluvia. La transformación de lluvia a caudal puede hacerse

mediante varios métodos: método de Clark, Método de Snyder, Método modificado de Clark, Método de la onda cinemática e hidrograma paramétrico del SCS (ver sección 4.4)

Para el presente análisis se aplica la metodología del hidrograma unitario paramétrico del SCS discutido anteriormente, para obtener el hidrograma de respuesta a los eventos de lluvia máxima probable en distintos puntos de la cuenca, calculando de esa manera, el valor de la crecida máxima probable en cada uno de los siguientes puntos de control: Cantel, Tunel, Candelaria, Samalá y Nimá.

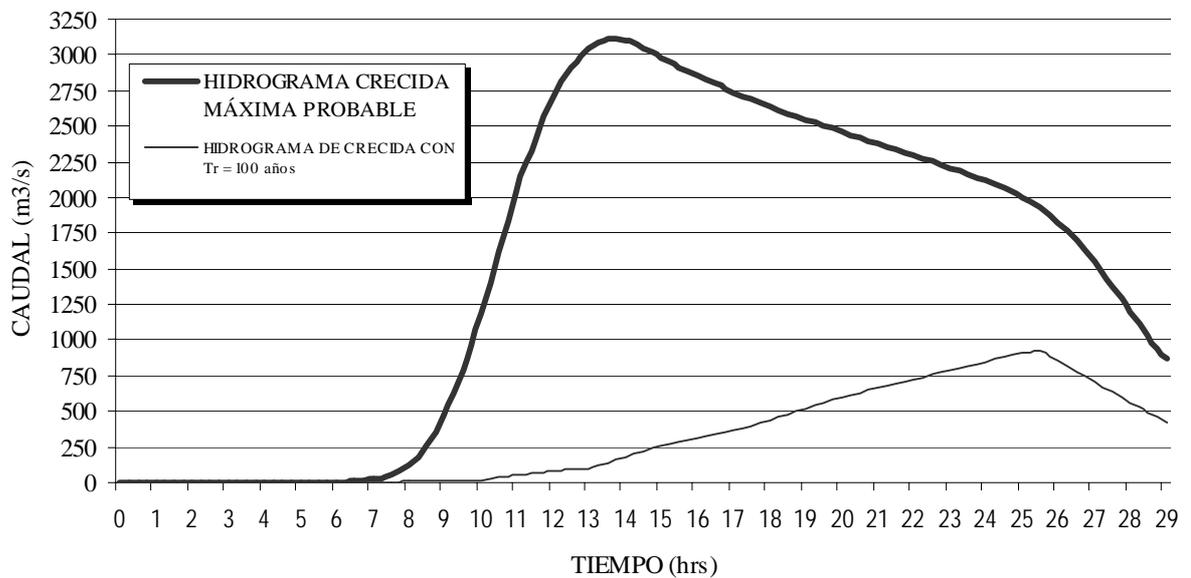
El cuadro con los resultados obtenidos se muestra en el apéndice E. A continuación se muestran todos los hidrogramas de la crecida máxima probable en los puntos de control indicados.

Figura 28. Hidrogramas de Crecida Máxima Probable en los puntos de control indicados.



A continuación se observa el hidrograma de crecida máxima probable y el hidrograma calculado para un período de retorno igual a 100 años, ambos para un evento de lluvia máxima en 24 horas, para el caso del río Samalá a la altura del puente de la CA2 .

Figura 29. Hidrogramas para una crecida con T_r de 100 años y para una crecida máxima probable, a la altura del puente de la CA2, en la cuenca del Río Samalá.



5. CAUDALES DE DISEÑO

En los estudios de drenaje de lluvias, protección de márgenes contra la acción de ríos, proyectos de puentes, y control de inundaciones es necesario conocer los caudales de las crecidas que se van a utilizar en los diseños de las obras civiles correspondientes (Medina, 2004). Estos caudales quedan definidos por los siguientes valores: Período de retorno (T_r), caudal pico (Q_p) y el hidrograma.

En algunos casos particulares, como en los estudios de puentes, es suficiente conocer T_r y Q_p ; en otros, por ejemplo, en el diseño de embalses, es fundamental determinar además el hidrograma de crecida. Los métodos que se aplican al cálculo de los caudales de diseño dependen de la calidad de la información disponible.

Cuando existen registros confiables de limnógrafo en una estación hidrométrica localizada cerca al sitio determinado para el estudio entonces pueden hacerse análisis de hidrogramas para calcular picos de caudales de diferentes períodos de retorno y estimar sus correspondientes hidrogramas típicos. Si además se tienen registros adecuados de pluviógrafo en la cuenca se pueden relacionar hidrogramas con pluviogramas para determinar el hidrograma unitario de la cuenca en estudio, y estimar por métodos probabilísticos los caudales de diseño y sus correspondientes hidrogramas para diferentes períodos de retorno. Desafortunadamente la mayoría de las corrientes naturales no cuentan con información suficiente para aplicar esta metodología.

En el caso del río Samalá, para el diseño de obras como puentes, protección de márgenes de ríos, obras de protección para comunidades cercanas, etc., como caudal de diseño se tomará la crecida centenaria, es decir, la calculada para un período de retorno (T_r) de 100 años, mientras que para obras de principal importancia como construcción de embalses puede considerarse la crecida milenaria o la máxima probable o un valor intermedio entre estos, dependiendo del grado de riesgo que corre el sistema

socioeconómico o natural aguas abajo de la obra, a la hora de que ocurra una falla en la presa o alguno de sus componentes.

CONCLUSIONES

1. La cuenca del río Samalá presenta dos áreas definidas, una que es la parte alta del altiplano que manifiesta un régimen de lluvias menor a la otra parte de la boca costa, en la zona media de la cuenca, la cual se caracteriza por lluvias intensas y una topografía más inclinada.
2. La mayor parte de la precipitación anual (entre un 75% y 95%) ocurre entre los meses de mayo a octubre, mientras que el resto del año este valor disminuye considerablemente.
3. Los valores de precipitación media anual varían de los 4,000 mm en la parte media de la cuenca a los 1,000 mm en la parte costera, valores que son influidos por las condiciones de ubicación y características topográficas de la cuenca.
4. Para el análisis de lluvias intensas se utilizaron cuatro estaciones, las cuales contaban con información para la deducción de curvas duración-intensidad-frecuencia.
5. En cuanto a los registros de lluvia diaria máxima, se obtuvo información para la elaboración de las familias de curvas de frecuencia con duraciones de 1, 2, 5 y 10 días consecutivos, para períodos de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50, 100, 500 y 1000 años.
6. El cálculo de la precipitación máxima probable se realizó a través del método estadístico, recomendado por la Organización Meteorológica Mundial, en el caso de la cuenca del río Samalá, para 15 estaciones, utilizando los datos disponibles de registros de lluvias extremas en 24 horas.
7. Con la utilización de los mapas de isolíneas, se observa claramente la distribución de precipitaciones dentro de la cuenca y permite zonificar las áreas con distintos valores de precipitación.
8. El análisis de crecidas se hizo mediante la aplicación del método del hidrograma unitario sintético del SCS, para eventos de lluvia con duración de

24 horas. De igual forma se hizo el cálculo de la crecida máxima probable, con eventos deducidos de los análisis de precipitación máxima probable y ponderación de dichos eventos en varios puntos de control dentro de la cuenca. Tal es el caso del punto de control a la altura del puente en la CA2, como lugar de importancia, donde se determinó la magnitud de caudales de crecida asociados a períodos de retorno de 100 y 1,000 años en $924 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1,723 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, y un valor de $3,116 \text{ m}^3/\text{s}$ para el caso de la crecida máxima probable.

9. El valor del caudal de diseño a considerar en la toma de decisiones, en la implementación de medidas de control y gestión de desastres de origen hidrometeorológico en la cuenca del río Samalá, variará de una crecida centenaria a milenaria y en casos extremos a la crecida máxima probable, dependiendo de la magnitud de la obra, teniendo cautela con el valor a utilizar.

RECOMENDACIONES

1. Dentro del monitoreo futuro del régimen hidrológico de la cuenca del río Samalá, es necesario que éste sea continuo para las lluvias en las estaciones y así observar las variaciones de éste, tanto espaciales como temporales.
2. Se deben instalar pluviómetros con registro continuo en varios sitios adicionales, principalmente en la parte baja de la cuenca, cercana a la parte costera, que es la parte que cuenta con menos información, y así lograr una cobertura completa de la cuenca.
3. Para poder realizar análisis más robustos del régimen de caudales máximos del río Samalá, es necesario la operación de estaciones que registren, de manera continua, lluvia y caudales.

REFERENCIAS

- Acajabón, Arturo (1967): **Estudio hidrológico básico de la cuenca del río Samalá.** Guatemala.
- CONRED (2004): **Componente hidrológico de la cuenca del río Samalá, Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED– Programa Santiaguito – Samalá.** Guatemala.
- CNEE (1999): **Normas de seguridad de presas;** consultado en www.cnee.gob.gt/pdf/normas/NSPPUBLICADA.pdf, Guatemala
- Linsley, Ray (1967): **Hidrología para ingenieros.** España.
- Medina, Gustavo (2004): **Cálculo de crecientes en cuencas no homogéneas;** consultado en www.geocities.com/gsilvam/c_homogeneas.htm, Colombia.
- Orozco, Elfego (2002): **Componente hidrológico.** Guatemala. Universidad de San Carlos.
- Rosada, Mario (2002): **Evaluación de la amenaza de las precipitaciones intensas en los asentamientos el Cerrito y las Torres, situados en la zona 7 de la ciudad capital.** Guatemala.
- Rosal, Carlos (1980): **Caracterización preliminar de la cuenca del río Samalá.** Guatemala.
- WMO (1973): **Manual for estimation of probable maximum precipitation.** Suiza.

BIBLIOGRAFÍA

Linsley, Ray y otros. **Hidrología para ingenieros**. España: McGraw Hill, 1967. 350 pp.

CONRED. **Componente hidrológico de la cuenca del río Samalá, Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres – CONRED – Programa Santiaguito–Samalá**. Guatemala, Enero 2004.

WMO. **Manual for estimation of probable maximum precipitation**. Suiza, 1973. 190 pp.

APÉNDICE A

Tabla XIX. Características de las estaciones meteorológicas con información de lluvia diaria.

*	NOMBRE	CUENCA	DEPTO.	MUNICIPIO	ELEV	LAT	LON	N
A	Cantel	Samalá	Quezaltenango	Cantel	2300	144820	912650	18
B	Concepción Chiquirichapa	Samalá	Quezaltenango	Concepción Chiquirichapa	2560	145115	913720	18
C	Patzulín	Samalá	Quezaltenango	El Palmar	900	144020	913430	34
D	Saint Joan	Samalá	Quezaltenango	El Palmar	1490	144208	913300	19
E	Santa Marta	Samalá	Quezaltenango	El Palmar	860	143929	913509	9
F	Labor Ovalle (*)	Samalá	Quezaltenango	Olintepeque	2400	145200	913000	25
G	Pachute	Samalá	Quezaltenango	San Carlos Sija	2720	145842	913501	26
H	Estancia La Virgen	Samalá	Quezaltenango	San Carlos Sija	1960	151120	913240	19
I	Recuerdo a Barrios	Samalá	Quezaltenango	San Carlos Sija	2760	150110	913520	19
J	San Miguel Sigüilá	Samalá	Quezaltenango	San Miguel Sigüilá	2440	145342	913650	11
K	Zunil (*)	Samalá	Quezaltenango	Zunil	1900	144610	912940	23
L	Las Delicias	Samalá	Retalhuleu	Retalhuleu	640	143840	913840	30
M	Retalhuleu (*)	Ocosito	Retalhuleu	Retalhuleu	200	143119	914148	8
N	El Tambor	Samalá	Retalhuleu	San Sebastián	640	143835	913651	10
O	Chojojá	Sis-Icán	Suchitepéquez	Mazatenango	371	143243	912924	26
P	Villa San Carlos	Sis-Icán	Suchitepéquez	Cuyotenango	360	143251	913427	21
Q	La Paz	Sis-Icán	Suchitepéquez	San Francisco Zapotitlán	580	143503	913227	28
R	Observatorio Santiaguito (*)	Samalá	Quezaltenango	El Palmar	900	144103	913442	5
S	El Asintal (*)	Ocosito	Retalhuleu	El Asintal	340	143500	914300	24
T	Catarina (*)	Scuchiate	San Marcos	Catarina	20	145120	920430	20
U	La Concha (*)	Madre Vieja	Suchitepéquez	Patulul	680	142658	911101	6

N = años de registro no necesariamente continuos, (*) Estaciones meteorológicas con registro de lluvias (pluviogramas)

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá**, (CONRED 2004)

APÉNDICE B

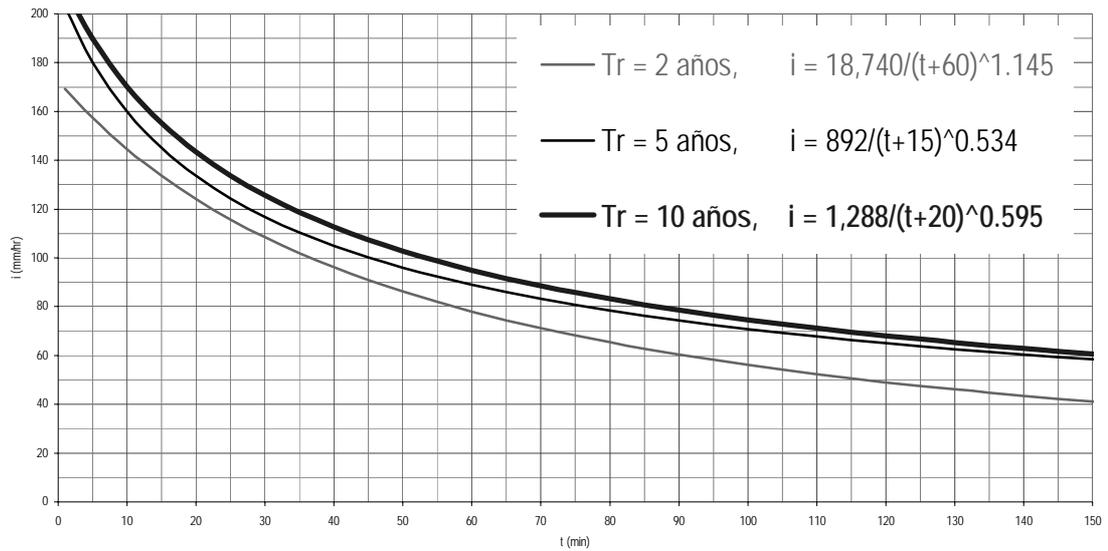
Tabla XX. Datos de lluvia máxima en 24 horas (1.13 de la lluvia máxima diaria) para las estaciones meteorológicas indicadas.

N	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	O	P	Q
1	122	78	407	235	80	149	123	91	105	89	279	242	210	227	342
2	75	72	293	227	75	98	102	85	102	84	192	241	207	216	283
3	73	66	255	223	61	96	96	80	82	76	191	218	180	194	220
4	61	65	226	210	61	72	81	75	79	73	183	176	178	182	208
5	59	64	221	192	58	65	79	75	75	69	181	166	153	182	170
6	53	63	203	185	58	62	74	71	72	67	181	164	144	175	170
7	52	56	192	173	55	59	69	64	72	59	180	157	143	170	166
8	52	55	191	170	54	59	68	62	67	59	163	152	140	157	163
9	49	53	185	160	54	58	59	62	45	58	158	132	140	147	147
10	47	53	183	158	52	55	58	57	44	56	157	112	137	144	147
11	46	53	172	146	51	54	58	57	34	53	150		129	137	141
12	45	51	172	138	50	53	57	55		53	148		124	132	140
13	45	50	171	124	47	53	57	55		52	147		122	131	138
14	45	46	168	121	46	51	46	50		51	147		121	131	138
15	40	42	162	119	45	50	46	46		50	145		120	130	136
16	36	40	161	118	45	49	46	45		49	145		110	126	133
17	35	39	155	115	45	47	46	45		49	142		108	123	130
18	35	32	155	113	44	46	41	43		48	132		100	116	126
19			152	105	43	46	38	35		47	131		93	109	124
20			148		43	45				45	129		89	87	124
21			146		42	43				44	125		86	71	119
22			146		41	42				38	124		77		119
23			145		39	39				29	120		75		119
24			137		38	38					118		74		113
25			131		32	37					115		74		102
26			128			37					110		74		102
27			126								110				102
28			125								105				90
29			123								104				
30			123								103				
31			121												
32			121												
33			105												
34			100												

N = años de registro.

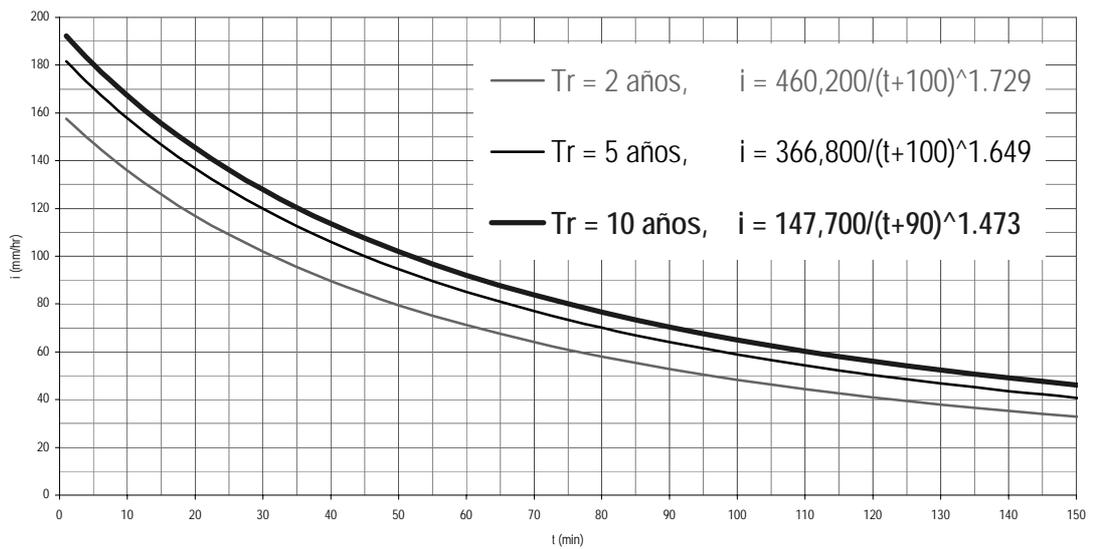
APÉNDICE C

Figura 30. Familia de curvas DIF para la estación La Concha.



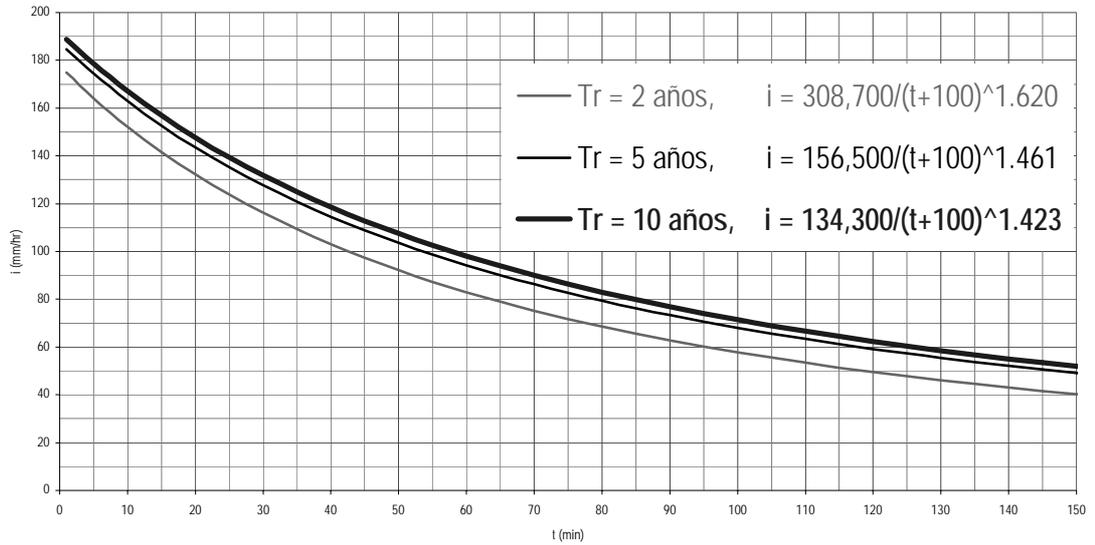
Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá**, (CONRED 2004).

Figura 31. Familia de curvas DIF para la estación El Asintal.



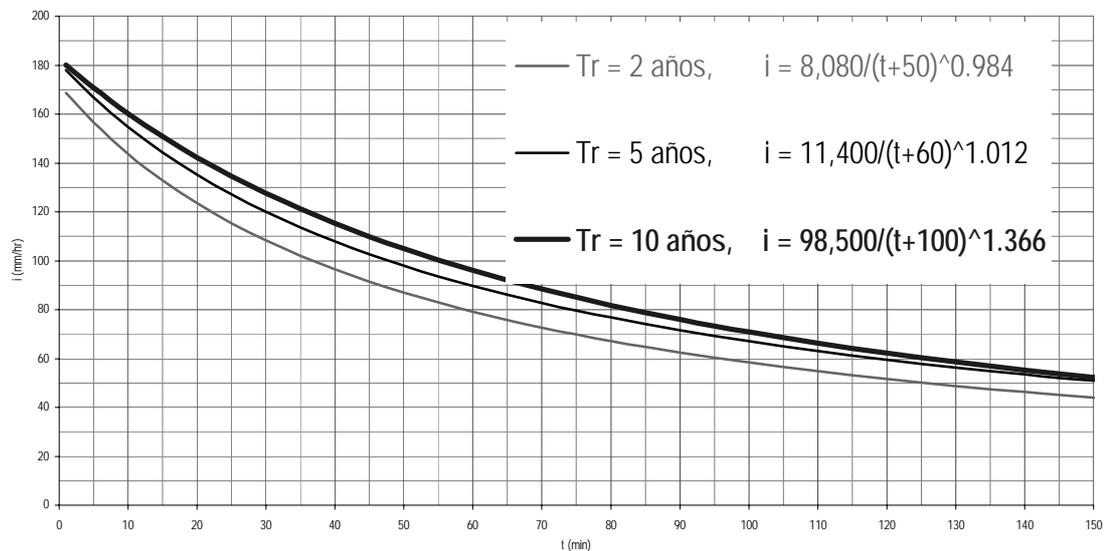
Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá**, (CONRED 2004).

Figura 32. Familia de curvas DIF para la estación Catarina.



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá, (CONRED 2004).**

Figura 33. Familia de curvas DIF para la estación Chojojá.



Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá, (CONRED 2004).**

Tabla XXI. Magnitudes de intensidad de lluvia asociadas a períodos de retorno de 2, 5 y 10 años.

t	LA CONCHA			EL Asintal			CATARINA			CHOJOJÁ		
	i2	i5	i10	i2	i5	i10	i2	i5	i10	i2	i5	i10
5	160	183	187	148	182	189	166	179	185	161	169	172
10	141	153	172	131	153	167	150	164	168	139	153	162
15	132	148	157	123	142	152	138	148	152	132	143	149
20	126	133	152	113	130	137	129	139	142	122	133	142
25	117	127	128	110	122	136	123	131	135	119	126	130
30	112	118	127	103	116	121	117	124	127	109	118	124
35	102	112	113	98	111	116	110	120	125	104	113	119
40	95	107	113	92	107	112	103	114	117	97	109	114
45	90	103	112	87	100	109	98	109	112	91	104	109
50	82	89	107	79	94	104	93	105	108	83	98	109
55	79	93	102	77	94	103	89	102	104	82	98	104
60	76	88	97	73	92	97	85	98	102	78	93	99
65	74	88	92	69	88	94	82	94	100	77	88	94
70	71	83	87	65	83	89	78	91	95	74	83	89
75	70	78	82	63	78	84	74	87	90	72	79	84
80	65	74	77	58	70	77	72	83	85	67	76	80
85	67	73	74	57	71	74	69	78	80	66	73	79
90	64	72	73	54	66	71	66	73	75	64	70	74
95	61	72	73	53	63	67	63	72	74	62	69	72
100	60	72	73	49	59	66	58	68	70	59	66	70
105	56	68	72	47	57	64	57	64	66	58	66	68
110	52	68	72	44	53	59	54	63	65	54	64	67
115	51	68	72	42	50	59	52	62	64	52	59	62
120	49	68	72	40	50	56	49	61	63	47	58	62
125	47	67	68	38	47	54	46	57	60	46	53	62
130	44	63	67	37	45	52	45	56	60	45	53	59
135	44	63	67	34	44	49	43	53	57	42	54	59
140	44	62	63	34	41	47	40	49	55	41	53	57
145	41	62	63	32	41	47	41	48	52	41	51	55
150	40	62	63	31	38	42	39	48	52	41	53	57

Fuente: **Componente Hidrológico de la Cuenca del Río Samalá**, (CONRED 2004).

APÉNDICE D

Figura 34. Ríos Samalá, Nimá y Tambor.



APÉNDICE E

Tabla XXII. Valores de los caudales en m³/s, calculados para una crecida máxima probable en los sitios indicados, en los intervalos de tiempo (hrs) indicados.

t (hr)	Cantel	Túnel	Candelaria	SAM3	NIMÁ
0	0,0	0	0	0	0,0
0,25	0,0	0	0	0	0,0
0,5	0,0	0	0	0	0,0
0,75	0,0	0	0	0	0,0
1	0,0	0	0	0	0,0
1,25	0,0	0	0	0	0,0
1,5	0,0	0	0	0	0,0
1,75	0,0	0	0	0	0,0
2	0,0	0	0	0	0,0
2,25	0,0	0	0	0	0,0
2,5	0,0	0	0	0	0,0
2,75	0,0	0	0	0	0,0
3	0,0	0	0	0	0,0
3,25	0,0	0	0	0	0,0
3,5	0,0	0	0	0	0,0
3,75	0,0	0	0	0	0,0
4	0	0	0	0	0,0
4,25	0	0	0	0	0,1
4,5	0	0	0	0	0,7
4,75	0	0	0	0	2,7
5	0	0	0	0	7,3
5,25	0	0,2	0	0	15,2
5,5	0,2	0,7	0,1	0,1	27,0
5,75	0,9	1,8	0,6	0,5	42,8
6	2,5	4,1	1,7	1,5	62,2
6,25	5,6	8,2	4	3,5	85,0
6,5	10,9	14,8	8	7,1	111,4
6,75	19,5	24,8	14,5	12,7	141,6
7	32,3	39,3	24,3	21,3	174,8
7,25	50,7	59,3	38,5	33,7	210,3
7,5	76,2	86,4	58,8	51,4	307,2
7,75	113,2	125	89,4	78,6	410,0
8	168,6	180,8	136	120,1	576,7
8,25	246,8	258,3	202,9	180,2	784,2
8,5	348	357,8	291,3	260,6	963,4
8,75	472,6	479	400,2	360,2	1065,2
9	622,8	623	530,8	480,1	1089,1
9,25	798,5	791,1	685,5	621,3	1050,2
9,5	993,6	982	863,7	785,3	975,0
9,75	1194	1187	1062	971,9	896,1
10	1387	1392	1272	1179	826,5
10,25	1562	1587	1481	1398	765,4
10,5	1713	1765	1682	1621	713,1
10,75	1840	1921	1868	1839	669,9
11	1941	2052	2034	2046	634,8

t (hr)	Cantel	Túnel	Candelaria	SAM3	NIMÁ
11,25	2015	2160	2178	2239	605,6
11,5	2064	2243	2302	2414	580,6
11,75	2092	2300	2403	2568	557,8
12	2101	2337	2480	2704	536,4
12,25	2090	2356	2536	2821	516,9
12,5	2062	2357	2574	2916	500,2
12,75	2023	2339	2595	2988	486,8
13	1983	2306	2599	3044	475,9
13,25	1942	2264	2586	3084	467,1
13,5	1903	2220	2558	3108	460,0
13,75	1865	2178	2522	3116	454,0
14	1829	2137	2485	3107	448,0
14,25	1796	2097	2448	3084	442,1
14,5	1764	2060	2412	3053	436,8
14,75	1733	2025	2377	3018	431,9
15	1703	1992	2344	2983	427,8
15,25	1676	1960	2313	2949	424,2
15,5	1650	1929	2283	2916	421,0
15,75	1627	1899	2253	2883	417,8
16	1604	1871	2225	2852	414,6
16,25	1584	1845	2198	2823	411,3
16,5	1565	1821	2171	2795	407,9
16,75	1547	1799	2146	2767	404,4
17	1531	1777	2123	2739	400,8
17,25	1515	1757	2101	2712	397,2
17,5	1500	1738	2080	2686	393,5
17,75	1486	1720	2060	2660	389,7
18	1472	1702	2041	2636	385,9
18,25	1459	1686	2022	2613	382,0
18,5	1446	1669	2004	2590	378,0
18,75	1433	1653	1986	2568	374,1
19	1421	1638	1968	2547	370,2
19,25	1408	1623	1951	2525	366,3
19,5	1396	1608	1934	2504	362,4
19,75	1384	1593	1918	2483	358,2
20	1372	1578	1901	2461	353,9
20,25	1359	1563	1885	2440	349,6
20,5	1347	1548	1868	2420	345,3
20,75	1334	1534	1851	2399	341,1
21	1322	1519	1835	2378	336,9
21,25	1309	1504	1818	2358	332,5
21,5	1296	1489	1801	2337	328,0
21,75	1282	1474	1784	2316	323,4
22	1269	1459	1766	2294	318,8
22,25	1255	1444	1749	2273	314,3

t (hr)	Cantel	Túnel	Candelaria	SAM3	NIMÁ
22,5	1241	1428	1732	2251	309,7
22,75	1227	1412	1714	2229	305,2
23	1213	1396	1696	2207	300,6
23,25	1199	1380	1678	2185	295,9
23,5	1184	1363	1659	2162	291,1
23,75	1170	1346	1641	2139	286,2
24	1155	1329	1621	2116	278,9
24,25	1140	1311	1601	2091	263,9
24,5	1122	1292	1579	2065	236,1
24,75	1100	1269	1554	2037	196,4
25	1074	1242	1524	2004	153,1
25,25	1043	1211	1491	1968	113,0
25,5	1005	1174	1354	1927	79,9
25,75	959,6	1131	1294	1881	56,2

t (hr)	Cantel	Túnel	Candelaria	SAM3	NIMÁ
26	906,1	1080	1228	1828	40,0
26,25	846,4	1022	1157	1768	28,4
26,5	782,5	958,7	1082	1701	20,0
26,75	716,3	891,7	1005	1627	14,1
27	649,9	822,9	927,5	1547	9,9
27,25	584,5	753,7	851,1	1464	6,9
27,5	521,2	685,4	776,1	1377	4,9
27,75	461,6	618,7	704	1289	3,4
28	406,1	555,2	635,6	1200	2,3
28,25	355	495,6	571,2	1113	1,5
28,5	308,9	439,9	511,1	1027	1
28,75	268,6	388,6	454	943,7	0,6
29	234,1	342,2	398	864,2	0