



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

**MODELADO DE UN HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
VILLALOBOS, EMPLEANDO EL MÉTODO *SOIL CONSERVATION SERVICE***

David Estuardo Marroquin Morazán

Asesorado por el Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque e

Ing. Claudio Cesar Castañón Contreras

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODELADO DE UN HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
VILLALOBOS, EMPLEANDO EL MÉTODO *SOIL CONSERVATION SERVICE***

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DAVID ESTUARDO MARROQUIN MORAZÁN

ASESORADO POR EL ING. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE E

ING. CLAUDIO CESAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**MODELADO DE UN HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
VILLALOBOS, EMPLEANDO EL MÉTODO *SOIL CONSERVATION SERVICE***

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 3 de octubre de 2016.

David Estuardo Marroquin Morazán

Guatemala, 11 de abril de 2017

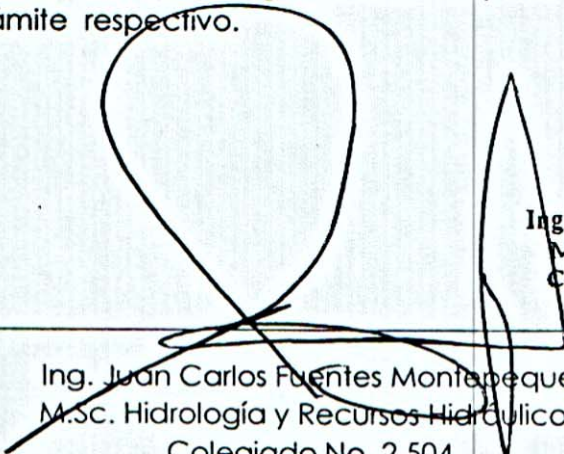
Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MODELADO DE UN HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS EMPLEANDO EL METODO SOIL CONSERVATION SERVICE**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil David Estuardo Marroquin Morazán, quien contó con la asesoría del M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el desarrollo de la hidrología a nivel nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo de graduación doy mi aprobación al mismo solicitando darle trámite respectivo.

Atentamente,



Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
M.Sc. Hidrología y Recursos Hídricos
Colegiado No. 2,504
Asesor

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 30 de mayo de 2017

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MODELADO DE UN HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, EMPLEANDO EL MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería David Estuardo Marroquín Morazán, quien contó con la asesoría del Ing. Claudio César Castañón Contreras.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Claudio César Castañón Contreras
 Asesor y Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO
 DE
 HIDRAULICA
 USAC

/bbdeb.





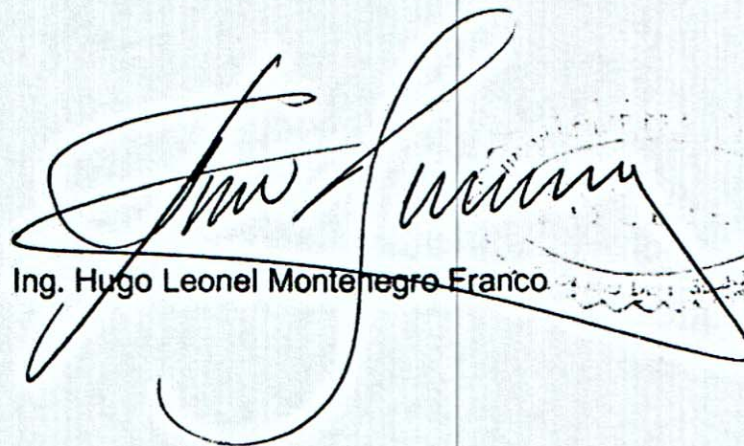
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante David Estuardo Marroquin Morazán MODELADO DE UN HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, EMPLEANDO EL MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, junio 2017
/mrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.D.290.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MODELADO DE UN HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, EMPLEANDO EL METODO SOIL CONSERVATION SERVICE**, presentado por el estudiante universitario: **David Estuardo Marroquín Morazán**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, julio de 2017

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su amor incondicional ya, que sin El nada de esto hubiese sido posible.
Mi madre	Ada Maribel Morazán, por su amor, apoyo y esfuerzo, el cual siempre ha estado presente en mi vida.
Mi padre	Eugenio Marroquín Roca, que en paz descanse; por el apoyo que me ha brindado, aunque ya no esté presente.
Mi abuela	Vilma Retana, por apoyarme en todo momento.
Mis hermanos	Jairon, Douglas, Jason, Bryant y Andrea, por brindarme siempre su apoyo.
Mis tíos	Oscar Solís y Avilio Castillo, por brindarme su apoyo y ayuda.
Mis primos	Héctor y Óscar Solís, Adriana, Gabriela y Ana Lucia Castillo.
Mis amigos	Alejandro y Amílcar Toledo, Abner Mejía, por su amistad y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me formó como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Mis amigos de la Facultad	Abner Mejía, Carlos Castillo, Gustavo Alvarado, Herbert Alfaro, Fernando Castillo, Carlos Serrano por tantas horas de estudio y convivencia.
Lic. Amílcar Toledo	Por brindarme su apoyo y su amistad.
Catedráticos	Por transmitirme sin ninguna limitación sus conocimientos.
Ing. Juan Carlos Fuentes	Por brindarme, además de sus conocimientos, sus consejos y su amistad.
INDE	Por darme la oportunidad de haber realizado mis prácticas finales y mi trabajo de investigación en tan prestigiosa institución.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Ciclo hidrológico	1
1.2. Hidrografía en Guatemala	3
1.2.1. Vertiente del Pacífico.....	3
1.2.1.1. Cuencas de la vertiente del Pacífico.....	4
1.2.2. Vertiente del Caribe	5
1.2.3. Vertiente del Golfo de México.....	6
1.3. Análisis de eventos extremos	8
1.3.1. Conceptos básicos	8
1.3.1.1. Probabilidad.....	8
1.3.1.2. Periodo de retorno (Tr)	8
1.3.1.3. Tiempo de concentración	9
1.3.1.4. Crecidas	9
1.3.2. Distribuciones teóricas de frecuencias para eventos extremos	10
1.4. Componentes básicos de riesgo	10
1.4.1. Riesgo	10
1.4.2. Amenaza.....	11

1.4.3.	Vulnerabilidad.....	11
1.4.4.	Desastre	11
1.4.5.	Inundaciones	12
2.	CARATERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS	13
2.1.	Ubicación geográfica de la subcuenca.....	13
2.2.	Delimitación de la subcuenca.....	13
2.3.	Determinación de parámetros morfométricos de la subcuenca.....	15
2.3.1.	Área de drenaje.....	15
2.3.2.	Tipo y uso de suelo	15
2.3.3.	Pendiente media (S).....	18
2.3.4.	Histograma de frecuencias altimétricas.....	20
2.3.5.	Curva hipsométrica	22
2.3.6.	Índice de compacidad (K).....	23
2.3.7.	Factor de forma	24
2.3.8.	Pendiente media del cauce principal	25
2.3.9.	Orden de las corrientes de agua	26
2.3.10.	Densidad de drenaje	28
3.	RÉGIMEN DE LLUVIA Y VARIABILIDAD	31
3.1.	Régimen de lluvias	32
3.1.1.	Clasificación de series.....	32
3.1.2.	Lluvia anual	32
3.1.3.	Lluvia mensual	34
3.1.4.	Lluvia diaria	35
3.1.5.	Lluvia diaria máxima anual	37
3.2.	Variabilidad de la lluvia anual.....	38
3.2.1.	Técnica del error estándar de ajuste	38

3.3.	Tendencia.....	40
3.3.1.	Lluvia anual.....	42
3.3.2.	Eventos Extremos.....	42
3.4.	Independencia	43
3.4.1.	Prueba de Anderson.....	43
3.5.	Homogeneidad	44
3.5.1.	Prueba t <i>Student</i>	44
3.5.2.	Prueba de <i>Cramer</i>	46
3.6.	Análisis de Frecuencia.....	48
3.6.1.	Parámetros estadísticos	48
3.6.2.	Ajuste.....	49
3.7.	Estimación de lluvias de diseño.....	52
4.	MODELADO DE PRECIPITACIONES REALES	55
4.1.	Distribución de precipitaciones en subcuenca.....	55
4.2.	Polígonos de <i>Thiessen</i>	56
4.3.	Isoyetas	58
5.	TRANSFORMACIÓN LLUVIA-ESCORRENTÍA	61
5.1.	Modelación de lluvias	61
5.2.	Lluvia efectiva.....	61
5.3.	Infiltración	62
5.3.1.	Método del número de curva de USDA SCS	63
5.3.1.1.	Condición hidrológica	68
5.3.1.2.	Grupo hidrológica del suelo	69
5.3.1.3.	Condición de humedad antecedente (AMC)	70
5.4.	HEC- HMS.....	76
5.4.1.	Componentes del modelo de la cuenca.....	77

5.4.2.	Componentes del modelo meteorológico	77
5.4.3.	Componentes de las especificaciones de control....	77
5.4.4.	Componentes de la entrada de datos	78
6.	MODELADO Y GENERACIÓN DE HIDROGRAMAS	79
6.1.	Hidrograma unitario.....	79
6.1.1.	Método del hidrograma unitario.....	79
6.2.	Hidrograma sintético	80
6.3.	Hidrograma de <i>Snyder</i>	81
6.4.	Hidrograma adimensional del SCS	83
6.5.	Hidrograma sintético triangular del SCS	84
6.6.	Hietograma de diseño	86
	CONCLUSIONES.....	91
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	APÉNDICES.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo hidrológico	3
2.	Vertientes y cuencas de Guatemala	7
3.	Ubicación geográfica y delimitación de la cuenca del río Villalobos	14
4.	Mapa de uso de suelo de subcuenca del río Villalobos.....	17
5.	Histograma de frecuencias altimétricas.....	22
6.	Curva hipsométrica	23
7.	Orden de corrientes de una cuenca	26
8.	Orden de corrientes de subcuenca del río Villalobos	27
9.	Precipitación anual (1983- 2016) estaciones Guatemala Sur, Suiza Contenta e Insivumeh	33
10.	Precipitación anual (1983- 2016) estaciones Compuertas Amatitlán y La Pampa	33
11.	Precipitación mensual de estaciones Compuertas Amatitlán y La Pampa, Guatemala Sur, Suiza Contenta e Insivumeh	34
12.	Precipitación diaria en estación Insivumeh	36
13.	Precipitación diaria máxima anual en estación Insivumeh	37
14.	Ajuste estadístico para estación, Compuertas Amatitlán	50
15.	Ajuste estadístico para estación, Guatemala Sur.....	50
16.	Ajuste estadístico para estación, Insivumeh	51
17.	Ajuste estadístico para estación, La Pampa	51
18.	Ajuste estadístico para estación, Suiza Contenta	52
19.	Polígonos de <i>Thiessen</i> de subcuenca del río Villalobos	57
20.	Isoyetas en una cuenca.	58

21.	Isoyetas medias anuales de subcuenca del río Villalobos	60
22.	Esquema de lluvia efectiva	72
23.	Esquema de representativo de proyecto en HEC-HMS.....	76
24.	Hidrograma adimensional SCS.....	83
25.	Hidrograma unitario triangular del SCS	85
26.	Curva de masa del hietograma de diseño	88
27.	Hidrograma unitario asociado a un Tr y AMC I	89
28.	Hidrograma unitario asociado a un Tr y AMC II	89
29.	Hidrograma unitario asociado a un Tr y AMC III	90

TABLAS

I.	Cuencas de la vertiente del Pacífico.....	5
II.	Uso de suelo en subcuenca del río Villalobos	16
III.	Ocurrencia de pendientes en subcuenca.....	19
IV.	Altitudes y áreas para histograma de frecuencias	21
V.	Parámetros morfométricos de subcuenca	29
VI.	Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de régimen de lluvia y variabilidad.....	31
VII.	Precipitación media anual en subcuenca Villalobos	32
VIII.	Parámetros estadísticos de lluvia mensual.....	35
IX.	Parámetros estadísticos de lluvia diaria.....	36
X.	Errores estándar de distribuciones estadísticas para mejor ajuste	39
XI.	Tendencia en las series mediante test no paramétrico, SROC	41
XII.	Parámetros de prueba de Anderson de eventos extremos.....	44
XIII.	Parámetros de prueba <i>t Student</i> para eventos extremos.....	45
XIV.	Parámetros de prueba de <i>Cramer</i> para eventos extremos	47
XV.	Parámetros estadísticos de lluvia anual.....	49

XVI.	Eventos de diseño asociados a lluvias diarias máximas anuales ..53
XVII.	Número de curva en función del uso del suelo y grupo hidrológico, para AMC II65
XVIII.	Número de curva CN.....66
XIX.	Condición hidrológica68
XX.	Clasificación hidrológica de los suelos69
XXI.	Condición de humedad antecedente propuesto por el SCS.....71
XXII.	Número de curva en función del uso de suelo73
XXIII.	Cálculo de número de curva para subcuenca74
XXIV.	Número de curva en función de AMC75
XXV.	Abstracciones o infiltraciones iniciales75
XXVI.	Valores para hidrograma adimensional.....84
XXVII.	Hietograma de diseño87
XXVIII.	Datos tabulados de hidrograma unitario para AMC I107
XXIX.	Datos tabulados de hidrograma unitario para AMC II.....112
XXX.	Datos tabulados de hidrograma unitario para AMC III.....117

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
Q	Caudal
CV	Coeficiente de variación
Ha	Hectárea
K	Índice de compacidad
Km	Kilometro
Km²	Kilómetro cuadrado
L	Longitud
m³/s	Metros cúbicos sobre segundo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
CN	Número de curva
S	Pendiente
I_a	Pérdidas iniciales
T_r	Periodo de retorno
%	Porcentaje
P_e	Precipitación en exceso
t	Tiempo
T_c	Tiempo de concentración

GLOSARIO

Absorción	Incorporación de agua o materia disuelta o ambas dentro de la estructura de un sólido.
Agua del suelo	Agua suspendida en la franja superior del suelo o en la zona de aireación cerca de la superficie del terreno que puede ser descargada a la atmosfera por evaporación.
Aguacero	Lluvia fuerte de corta duración que usualmente cae de nubes convectivas.
AMC	<i>Antecedent moisture condition.</i>
Año hidrológico	Periodo de 12 meses continuos del mes de mayo del presente año a abril del siguiente.
Área inundada	Área cubierta por agua cuando el caudal excede la capacidad de carga de un canal o como consecuencia del represamiento de un río aguas abajo.
Capacidad de absorción	Cantidad de agua absorbida que la sustancia receptora puede aceptar.
Estrato compactado	Estrato en el subsuelo que obstruye la penetración de raíces y agua.

Capacidad de campo	Cantidad de agua que se mantiene en un suelo después del drenaje del agua gravitacional.
Caudal	Volumen de agua que fluye por la sección transversal de un río (o canal) por unidad de tiempo.
Caudal base	Caudal que entra al cauce principalmente de agua subterránea, pero también de lagos y glaciares, durante periodos largos cuando no ocurre precipitación.
Coefficiente de escurrimiento	Relación entre la altura de escorrentía y la altura de precipitación.
Coefficiente de infiltración	Relación de la tasa de infiltración a la tasa de lluvia.
Corriente efímera	Corriente que fluye solo con respuesta directa de precipitación o al flujo de una corriente.
Crecida máxima anual	Caudal máximo de crecida anual obtenido durante el periodo de registro.
Crecida máxima posible	Mayor inundación que puede esperarse, tomando en cuenta de manera determinística todos los factores pertinentes de ubicación, meteorología, hidrología y terreno.
Curva de frecuencia	Curva que relaciona los posibles valores de una variable, como el valor de un evento hidrológico

específico, con su frecuencia de ocurrencia.

Curva IDF	Curva que muestra la probabilidad de excedencia de diferentes intensidades de lluvia en periodos cortos para diferentes duraciones de precipitación en un lugar específico.
Datos puntuales	Observaciones en un sitio específico, como la ubicación de un pluviómetro o una estación de aforo.
Distribución de frecuencia	Relación entre los valores medidos de una variable y su frecuencia de ocurrencia.
Erosión	Degradación y transporte de suelo y roca por una corriente de agua, glaciares, vientos u olas.
Escorrentía	Parte de la precipitación que fluye hacia un río en la superficie del suelo.
Evaporación	Proceso por el que el agua pasa de estado líquido a vapor a una temperatura menor al punto de ebullición.
Evapotranspiración	Proceso por el que el agua es transferida a la atmósfera desde el suelo por evaporación y desde la vegetación por transpiración.

Exceso de lluvia	La parte de la lluvia que contribuye directamente a la escorrentía superficial.
Flujo	Caudal por unidad de área de la sección transversal.
Hidrología	Ciencia que estudia el agua encima y debajo de las superficies de la Tierra; su ocurrencia, circulación y distribución en el tiempo y el espacio; sus propiedades biológicas, químicas y físicas; y su interacción con el ambiente, incluida la relación con los seres vivos.
Hidrometeorología	Estudios de las fases atmosféricas y terrestres del ciclo hidrológico, con énfasis en las interrelaciones involucradas.
Hidrometría	Aplicación de la medición y análisis del ciclo hidrológico, incluidos los métodos, técnicas e instrumentos utilizados en hidrología.
Hietograma	Mapa o gráfico que muestra la distribución temporal o espacial de la precipitación.
Histograma	Diagrama de frecuencias de una variable con rectángulos proporcionales en área a la frecuencia de clase, construido sobre un eje horizontal con un ancho igual al intervalo de clase.

Humedad antecedente del suelo	Nivel de humedad del suelo en una cuenca al inicio de un evento de precipitación.
Impermeable	Que tiene una textura que no permite que el agua pase perceptiblemente bajo la presión estática que comúnmente se encuentra en el agua subterránea.
Infiltración	Flujo de agua a través de la superficie del suelo en un medio poroso.
Isopluvial	Isopletas relacionadas con lluvia para una duración específica y para un periodo de retorno específico.
Isoyeta	Línea de contorno que une los puntos en los cuales la cantidad de precipitación, en un periodo específico, es la misma.
Limnómetro	Escala vertical graduada, fijada a un poste o a una estructura, contra la cual se puede leer el nivel del agua.
Mapa hidrogeológico	Mapa que muestra las principales características hidrogeológicas de un área de estudio como espesor de acuífero, datos de nivel de agua, áreas de recarga y descarga y líneas de flujo.

Percolación	Flujo de un líquido a través de un medio poroso insaturado, como el de agua en el suelo bajo la acción de gravedad.
Periodo de retorno	Intervalo promedio de tiempo a largo plazo entre eventos en los cuales una variable hidrológica de magnitud específica es igualada o excedida.
Piezómetro	Un pozo de observación de diámetro pequeño utilizado para medir la cabeza hidráulica del agua subterránea en acuíferos.
Pluviograma	Distribución de una lámina de lluvia en el tiempo.
Pluviómetro	Instrumento para medir la altura del agua de la precipitación en un punto.
Precipitación	Producto líquido o sólido de la condensación o sublimación del vapor de agua que cae de las nubes o es depositado desde el aire en el suelo.
Probabilidad	Concepto estadístico básico que expresa, de alguna manera, un “grado de convicción” o se interpreta como que limita la frecuencia relativa de ocurrencia en una serie infinita.
Retención	La parte de la precipitación que cae sobre un área de drenaje que no se integra al flujo superficial durante un periodo determinado.

SCS	<i>Soil Conservation Service.</i>
Tiempo de retraso	Intervalo de tiempo entre el centro de masa de la lluvia neta y el centro de masa de la escorrentía máxima.
Transpiración	Proceso por el cual el agua de la vegetación es transferida a la atmósfera en forma de vapor.
Vertedero	Estructura de rebalse que se puede utilizar para controlar el nivel del agua río arriba o para medir caudal, o ambos.

RESUMEN

En el proceso del modelado de un hidrograma unitario sintético de una cuenca, se hace necesario tener en cuenta la caracterización morfométrica de la cuenca en estudio. Es por ello que en este trabajo de graduación se ha procedido a estudiar y analizar estas características que posee la subcuenca del río Villalobos, ya que esta será la base e inicio del modelado de un hidrograma unitario. Posteriormente al previo estudio de la subcuenca se procedió a analizar el régimen de lluvia y variabilidad que se ha suscitado en el año 2016 sobre la superficie de la subcuenca en estudio, mostrándose que se ha tenido una tendencia al incremento de precipitación en áreas donde se ha tenido un cambio considerable del uso del suelo.

También así mismo cabe mencionar que para el análisis del régimen y variabilidad de las lluvias se ha empleado distintas técnicas estadísticas para comprobar independencia y homogeneidad de las series de datos de precipitación y así tener una mayor certeza de la información que utilizara para el análisis de frecuencia y estimación de lluvias de diseño. Conjuntamente con la información antes analizada se debe de analizar la superficie de la subcuenca, ya que de ella depende si la precipitación escurre sobre la superficie o se infiltra en el suelo, para analizar esta información se utilizó el método del servicio de conservación de suelos en donde se propone el número de curva en función del porcentaje de precipitación que escurre; Para que finalmente se utilice el software de HEC-HMS y se modele las condiciones hidrológicas y meteorológicas con el fin de obtener el hidrograma unitario para distintos periodos de retorno y condiciones de humedad antecedente, resaltando los caudales máximos.

OBJETIVOS

General

Modelar un hidrograma unitario sintético para la subcuenca del río Villalobos utilizando el método *Soil Conservation Service* (SCS).

Específicos

1. Recolectar datos de precipitación de las estaciones hidrometeorológicas que poseen las instituciones gubernamentales y privadas.
2. Determinar las características biofísicas de la subcuenca en estudio para la utilización del método *Soil Conservation Service* (SCS).
3. Conocer la tendencia y variabilidad de la lluvia que se ha presentado a lo largo del tiempo en las series de datos obtenidas de la subcuenca del río Villalobos.
4. Realizar un análisis de independencia y homogeneidad para los datos de precipitación recolectados de las estaciones hidrometeorológicas de la subcuenca en estudio.
5. Estimar lluvias de diseño empleando parámetros estadísticos y ajustes al modelo matemático de la lluvia.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ciencia de la hidrología existen dos áreas muy importantes, las cuales son: el área operativa y el área de aplicación. El área operativa se encarga básicamente en la recolección de todas las variables hidrometeorológicas, para que posteriormente la hidrología aplicada pueda hacer uso de los datos recopilados por la hidrología operativa. Pero existe un problema en la hidrología aplicada, y es que se tiene poco interés en sus temas de estudio, lo cual ocasiona que no se tenga control de las variables hidrometeorológicas en el territorio guatemalteco.

Es por ello que en el presente trabajo de graduación se utilizarán estas dos áreas de la hidrología, y se hará uso de registro de datos de precipitaciones que se han obtenido de las estaciones hidrometeorológicas de la subcuenca del río Villalobos, para que posteriormente se lleve a cabo la modelación de un hidrograma unitario sintético.

Para la realización del modelado del hidrograma unitario sintético es necesario tener el conocimiento del modelado de lluvias de diseño, utilizando las series de datos de precipitación; así como la transformación de lluvia-escorrentía y del modelado de hidrogramas.

Por lo tanto, la manera en el que está estructurado el presente trabajo de graduación es la siguiente: conceptos básicos en hidrología, estadística hidrológica para valores extremos, modelación de precipitaciones reales, lluvia efectiva, infiltración y, por último, hidrogramas sintéticos.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el suceso de acontecimientos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus formas líquida y sólida.

“La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación. La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración. El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1 000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación.”¹

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida o sólida. El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo. La precipitación incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por congelación del vapor (helada) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas.

¹ FATTORELLI Y FERNANDEZ. *Diseño Hidrológico*. p. 23, 24.

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua.

El agua restante se infiltra penetrando en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

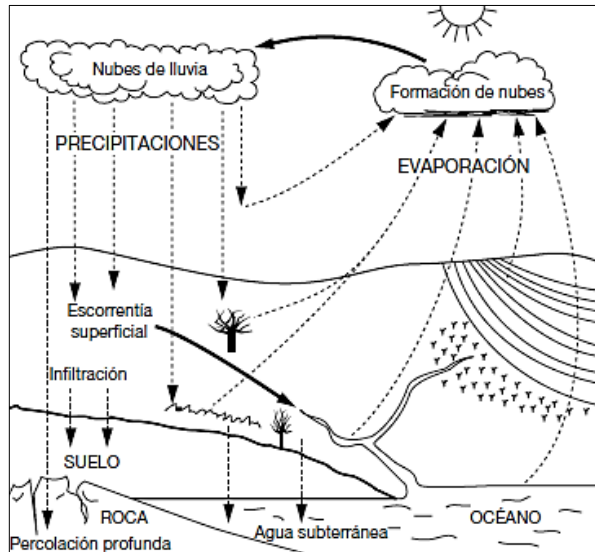
Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desembocan en lagos y en océanos. La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación.

“Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.”²

La figura 1 representa de manera muy simplificada los procesos de un ciclo hidrológico general.

² FATTORELLI Y FERNANDEZ. *Diseño Hidrológico*. p. 24.

Figura 1. **Ciclo hidrológico**



Fuente: *Guía de prácticas hidrológicas OMM*, p. 88.

1.2. **Hidrografía en Guatemala**

En Guatemala se ha estimado que el cuarenta y uno por ciento (41 %) de la lluvia que precipita sobre el territorio escurre superficialmente y llega a los océanos. Guatemala cuenta con tres regiones hidrográficas o vertientes desde el punto de vista donde drenan o desembocan los ríos la cuales son la vertiente del Pacífico, Caribe y Golfo de México (Insivumeh).

1.2.1. **Vertiente del Pacífico**

Los ríos que corresponden a la Vertiente del Pacífico tienen longitudes cortas (110 km. promedio) y se originan a una altura media de 3 000 msnm. Las pendientes son fuertes en las partes altas de las cuencas, entre el 10 % y el 20 % cambiando bruscamente a pendientes mínimas en la planicie costera,

creando grandes zonas susceptibles a inundación en esta área. Estas condiciones fisiográficas producen crecidas instantáneas de gran magnitud y corta duración, así como tiempos de propagación muy cortos.

“Por otro lado, todos los ríos de la Vertiente del Pacífico acarrean grandes volúmenes de material, especialmente escorias y cenizas volcánicas, debido a que la cadena volcánica se encuentra entre los límites de la vertiente. Debido a este arrastre de material los ríos tienen cursos inestables causando daños e inundaciones en la planicie costera. La precipitación en la vertiente del Pacífico tiene períodos de gran intensidad, típica de las zonas costeras con una precipitación media anual de 2 200 mm.”³

1.2.1.1. Cuencas de la vertiente del Pacífico

La cuenca de la vertiente del Pacífico cuenta con 18 cuencas con un área en total de 23 990 Km² a continuación se describe en la siguiente tabla las distintas cuencas de la vertiente del Pacífico, así como sus áreas correspondientes.

³ Insivumeh. *División hidrológica de Guatemala*. p. 1.

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

Cuencas de la vertiente del Pacífico					
No.	Cuenca	Área (Km²)	No.	Cuenca	Área (Km²)
1.1	Coatán	270	1.10	Coyolate	1 648
1.2	Suchiate	1 054	1.11	Acomé	706
1.3	Naranjo	1 273	1.12	Achiguate	1 291
1.4	Ocosito	2 035	1.13	María Linda	2 727
1.5	Salamá	1 510	1.14	Paso Hondo	512
1.6	Sis-Icán	919	1.15	Los Esclavos	2 271
1.7	Nahualate	1,941	1.16	Paz	1 732
1.8	Atitlán	541	1.17	Ostúa-Güija	2 243
1.9	Madre Vieja	1 007	1.18	Olopa	310
Área total de la vertiente del Pacífico (Km²)					23 990

Fuente: elaboración propia.

1.2.2. **Vertiente del Caribe**

En el caso de la Vertiente del Atlántico, la longitud de los ríos es mucho mayor e incluye el río más largo del País, el río Motagua con 486.55 km. Las pendientes son más suaves y su desarrollo es menos brusco, ya que en la parte montañosa los ríos hacen su recorrido en grandes barrancas o cañones. Las crecidas son de mayor duración y los tiempos de propagación son también mayores. Los caudales son más constantes durante todo el año.

“Parte del área dentro de esta vertiente tiene muy baja pluviosidad, 500 mm/anuales, mientras que, en la zona de Puerto Barrios y Morales, la pluviosidad alcanza hasta 3500 mm/anuales.”⁴

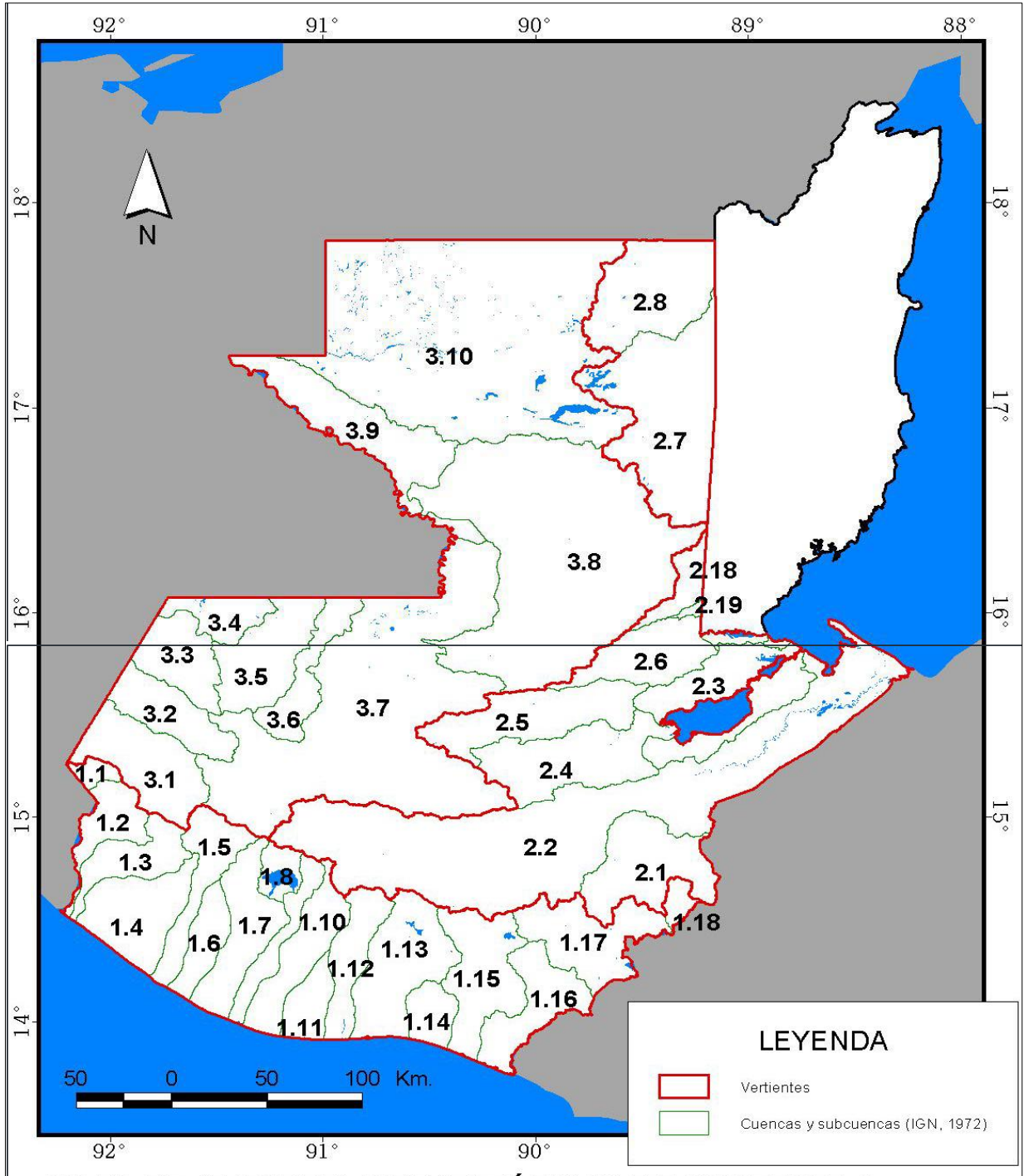
1.2.3. Vertiente del Golfo de México

“En la vertiente del Golfo de México al igual que los ríos que desembocan en el Atlántico, los ríos que desembocan en el Golfo de México, poseen grandes longitudes. Aquí se encuentran los ríos más caudalosos del País, como lo son el río Usumacinta, el río Chixoy y el río La Pasión, Las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estables y los recorridos más sinuosos. Las pendientes son relativamente suaves. La precipitación media es de 2500 mm/anuales.”⁵

⁴ Insivumeh. *División hidrológica de Guatemala*. p. 1.

⁵ *Ibíd.* p. 1.

Figura 2. Vertientes y cuencas de Guatemala



Fuente: ANLEU, Rafael. *Inventario de cuencas de Guatemala*, 2006. p. 10.

1.3. Análisis de eventos extremos

1.3.1. Conceptos básicos

Para realizar un análisis de eventos extremos es necesario conocer algunos términos de gran importancia como lo son los siguientes:

1.3.1.1. Probabilidad

“La probabilidad es una base matemática para la predicción, la cual, para un conjunto exhaustivo de resultados, es la relación entre el número de resultados que producen un evento particular y el número posible de resultados”.⁶

1.3.1.2. Periodo de retorno (Tr)

“El periodo de retorno (Tr) se define como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud “X” puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en un promedio”.⁷

“También se le conoce como intervalo de recurrencia al periodo de retorno y se usa para representar el número de años que transcurren en promedio para que un evento sea igualado o excedido”.⁸

Matemáticamente, el período de retorno se define como el inverso de la probabilidad de excedencia.

⁶ LINSLEY. *Hidrología para ingenieros, Probabilidad en hidrología*. p. 281.

⁷ BEJAR, Maximo Villon. *Hidrología*. p. 242.

⁸ LINSLEY. *Op.Cit.* p. 282.

Desde el punto de vista estadístico, a mayor magnitud de una crecida, mayor es el período de retorno y menor es la probabilidad de que ese evento ocurra en cualquier año.

- Probabilidad de excedencia $P = 1 / T$
- Probabilidad de no excedencia $\underline{P} = 1 - P$

1.3.1.3. Tiempo de concentración

“Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo que máximo; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida.”⁹

1.3.1.4. Crecidas

El concepto de una crecida o una avenida es toda aquella elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio que se presenta normalmente a este cauce.

En general, es un fenómeno de ocurrencia de caudales relativamente grandes. Lluvias muy intensas provocan crecidas en pequeñas cuencas, las lluvias de menor intensidad, pero de duración y cubrimiento grande provocan crecidas en grandes cuencas.

⁹ IBÁÑEZ, Sara. *Métodos para la determinación del tiempo de concentración*, Universidad politécnica de Valencia. p. 2

1.3.2. Distribuciones teóricas de frecuencias para eventos extremos

La estadística hidrológica para valores extremos es una de las herramientas más comunes en la hidrología juntamente con el análisis de frecuencias de series hidrológicas. Para realizar un análisis de frecuencias correspondiente a las series de datos es necesario emplear las funciones de distribución estadística, las cuales son las siguientes: Distribución de valores extremos tipo I (EVI) o de Gumbel, Distribución normal, Distribución Log-Normal, Distribución Log-Normal de dos parámetros, Distribución de Pearson tipo III o gamma de tres parámetros, Distribución de Log-Pearson III y Distribución de Log-Gumbel o Fréchet. Cabe mencionar que a mayor cantidad de datos se obtendrá mayor precisión en el análisis de frecuencias.

1.4. Componentes básicos de riesgo

1.4.1. Riesgo

“Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas a causa de un desastre (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) como resultado de la interacción entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad a las cuales está expuesta una comunidad”.¹⁰

¹⁰ CONRED. *Glosario de secretaría ejecutiva*. p. 22.

1.4.2. Amenaza

“Peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antropogénico, que puede producir efectos riesgo físico externo a un elemento o grupo de elemento sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un período de tiempo definido.”¹¹

1.4.3. Vulnerabilidad

“Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, políticos, económicos y ambientales, que aumentan la predisposición, susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto negativo de un fenómeno físico destructor (producido por amenazas naturales o antrópicas) y a reponerse después de un desastre”.¹²

1.4.4. Desastre

“Alteración intensa en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente, causadas por un suceso natural o generado por la actividad humana, que excede la capacidad de respuesta de la comunidad afectada”.¹³

También un desastre se puede decir que es la Interrupción y alteración severa e intensa que trastorna gravemente el funcionamiento normal de una comunidad o sociedad, provocado por un evento físico potencialmente destructor, de origen natural o antrópico, determinado por condiciones de

¹¹ CEPREDENAC, *Glosario actualizado de términos*, 2010.

¹² CONRED, *Glosario de secretaría ejecutiva*. p. 24.

¹³ *Ibíd.* p. 10.

vulnerabilidad latentes en la sociedad, que puede causar importantes pérdidas de vidas humanas, materiales, económicas, productivas o ambientales que amenaza la forma de subsistencia y desarrollo de un territorio, comunidad, grupos de personas y ecosistemas.

1.4.5. Inundaciones

“Invasión de las tierras situadas junto a un cauce por el desbordamiento de sus aguas, debido a crecidas del caudal causado por lluvias abundantes o fusión de las nieves y hielos en la cuenca correspondiente”.¹⁴

Una inundación se define como una elevación no usual del nivel de agua, que provoca desbordamientos y posibles perjuicios. Se caracteriza por la ocurrencia de caudales grandes que se salen del canal de la corriente. Una crecida puede no causar inundación, especialmente si se construyen obras de control para tal fin. Por otro lado, aun no habiendo un aumento grande de escorrentía superficial, podrá suceder una inundación en el caso de que exista alguna obstrucción en el canal natural del río.”¹⁵

¹⁴ CONRED. *Glosario de secretaria ejecutiva*. p. 16.

¹⁵ MONSALVE, German. *Hidrología en la ingeniería*. 1999.

2. CARATERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO VILLALOBOS

2.1. Ubicación geográfica de la subcuenca

La subcuenca del río Villalobos se encuentra ubicada en la parte central de la República de Guatemala, el área de la subcuenca se encuentra distribuida entre los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez. En el departamento de Guatemala la subcuenca se encuentra extendida sobre los municipios de Mixco, Guatemala, Santa Catarina Pínula y Amatitlán; en dirección oeste, en el departamento de Sacatepéquez la subcuenca se extiende en los municipios de San Lucas Sacatepéquez, Santa Lucía Magdalena y Santa Lucía Milpas Altas. El área de la subcuenca mayoritariamente se ubica en el Departamento de Guatemala.

“La extensión territorial de la subcuenca se estima en 310 km², el cauce principal lo constituye el río Villalobos, el cual desemboca en el lago de Amatitlán en las coordenadas 90° 34´ 12” longitud Oeste y 14° 29´ 02” latitud Norte, a una altitud de 1 189 metros sobre el nivel del mar.”¹⁶

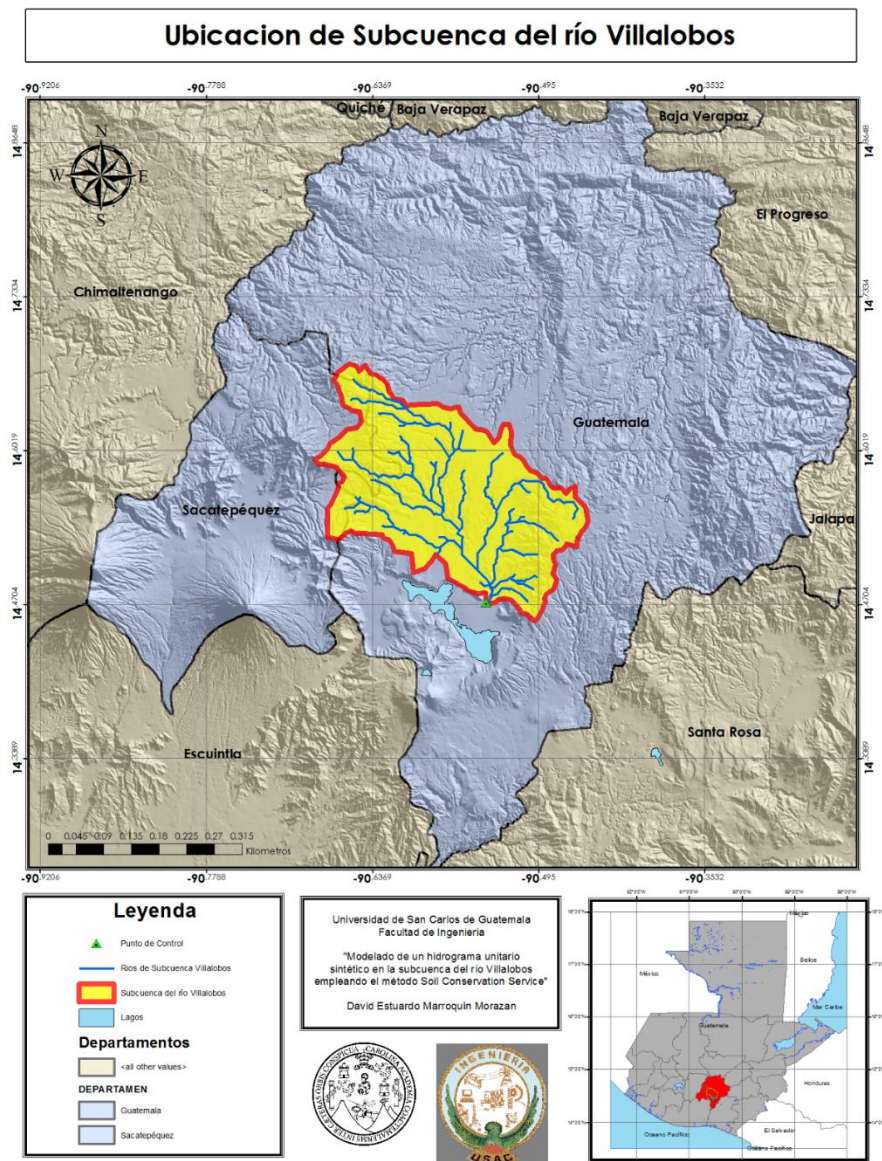
2.2. Delimitación de la subcuenca

Para la delimitación de la subcuenca del río Villalobos se utilizó el *Software* de computadora *ArcMap*, en el cual aplica la técnica de generar la división de la

¹⁶ FUENTES MONTEPEQUE, Juan Carlos. *Impacto Hidrológico asociado al proceso de urbanización en la subcuenca del río Villalobos, Guatemala*, p. 44

subcuenca por medio del parte aguas, cortando las curvas de nivel en la parte cóncava y convexa de las mismas.

Figura 3. **Ubicación geográfica y delimitación de la cuenca del río Villalobos**



Fuente: elaboración propia, empleando ArcGIS.

2.3. Determinación de parámetros morfométricos de la subcuenca

2.3.1. Área de drenaje

El área de drenaje de una cuenca es la superficie, en proyección horizontal delimitada por el parteaguas. El área de drenaje que se determinó por medio de la delimitación del parteaguas de la subcuenca Villalobos, en donde se utilizó el *software* de computadora *ArcGIS*, el cual se obtuvo un área de drenaje de 312,99 Km².

2.3.2. Tipo y uso de suelo

El mayor uso del suelo que se le da a la subcuenca del río Villalobos es de los territorios artificializados de carácter urbano comprendiendo un 40,55 % de la superficie total de la subcuenca. Ocasionando que la tasa de infiltración sobre la superficie sea cada vez más declinante.

Asimismo, se tiene los distintos usos que se le da al suelo de la subcuenca, siendo el uso de bosque, vegetación tipo arbustos, espacios abiertos, agricultura anual, agricultura permanente y pastizales. Cada uno de esos tipos de uso de suelo se presenta a continuación en la tabla II.

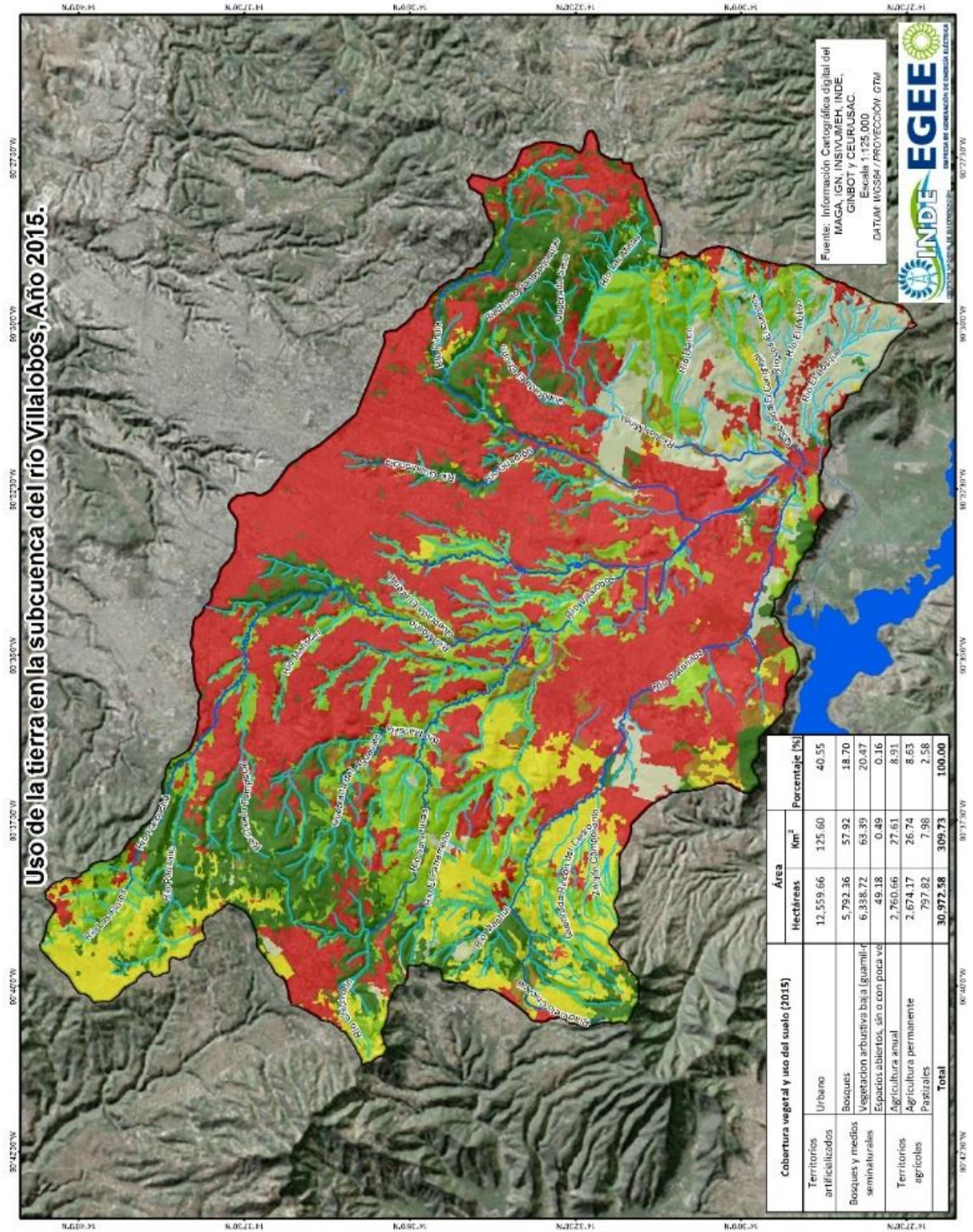
Cabe mencionar que con el transcurrir del tiempo la tendencia a que exista mayor superficie cubierta debido a la urbanización irá aumentando, provocando que ante un evento de precipitación se genere mayor flujo superficial.

Tabla II. **Uso de suelo en subcuenca del río Villalobos**

Uso de suelo al 2015		Porcentaje de área
Territorios artificiales	Urbano	40,55 %
Bosques y Medios seminaturales	Bosques	18,70 %
	Vegetación tipo arbustos	20,47 %
	Espacios abiertos, sin o con poca vegetación	0,16 %
Territorios Agrícolas	Agricultura anual	8,91 %
	Agricultura Permanente	8,63 %
	Pastizales	2,58 %
Total		100,00 %

Fuente: elaboración propia con base a mapa de uso de suelos de la figura 4.

Figura 4. Mapa de uso de suelo de subcuenca del río Villalobos



Fuente: INDE, Departamento de Hidrología.

2.3.3. Pendiente media (S)

La pendiente media de la cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controlan el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los cauces de drenajes, y tiene una importancia directa en la relación y magnitud de las crecidas.

Para la determinación de la pendiente media de la cuenca se utilizó el *Software ArcGIS*, obteniendo del mismo, intervalos de pendientes de 0 a 10 % y la ocurrencia de cada intervalo, para que posteriormente se procediera a calcular una pendiente ponderada de los datos obtenidos. A continuación, se presenta la tabla resumen de la ocurrencia de pendientes en cada intervalo.

Tabla III. **Ocurrencia de pendientes en subcuenta**

No.	Rango de pendiente			Ocurrencia (2)	(1) *(2)
	Inferior (%)	Superior (%)	Promedio (%) (1)		
1	0	10	5	9 880	49 400
2	10	20	15	6 437	96 555
3	20	30	25	4 328	108 200
4	30	40	35	2 667	93 345
5	40	50	45	1 514	68 130
6	50	60	55	777	42 735
7	60	70	65	407	26 455
8	70	80	75	185	13 875
9	80	90	85	50	4 250
10	90	100	95	4	380
Total				26 249	503 325

Fuente: elaboración propia.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Promedio de pendientes}) * (\text{Ocurrencia de pendientes})}{\sum_{i=0}^n (\text{Ocurrencia de pendientes})}$$

$$S = \frac{503\,325 \text{ [\% * no. ocurrencias]}}{26\,249 \text{ [no. ocurrencias]}} = 19,18 \%$$

Por lo tanto, la pendiente de la subcuenta será de un 19,18 %.

2.3.4. Histograma de frecuencias altimétricas

El histograma de frecuencias de altitudes o altimétricas, es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. Este histograma es un complemento de la curva hipsométrica.

Con las curvas anteriores se puede determinar las siguientes altitudes características:

- a) Altitud media: Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50 % del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella.
- b) Altitud más frecuente: Es el máximo valor en porcentaje de la curva de la curva de frecuencia de altitudes.
- c) Altitud de frecuencia media: Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes.

“Gráficamente la altitud o elevación media de la cuenca se obtiene, entrando con el 50 % del área en el eje x, trazando una perpendicular por este punto hasta intercepta a la curva hipsométrica. Luego por este punto trazar una horizontal hasta cortar el eje y.”¹⁷

A continuación, se presenta la tabla de altitudes y áreas correspondientes a cada una de ellas.

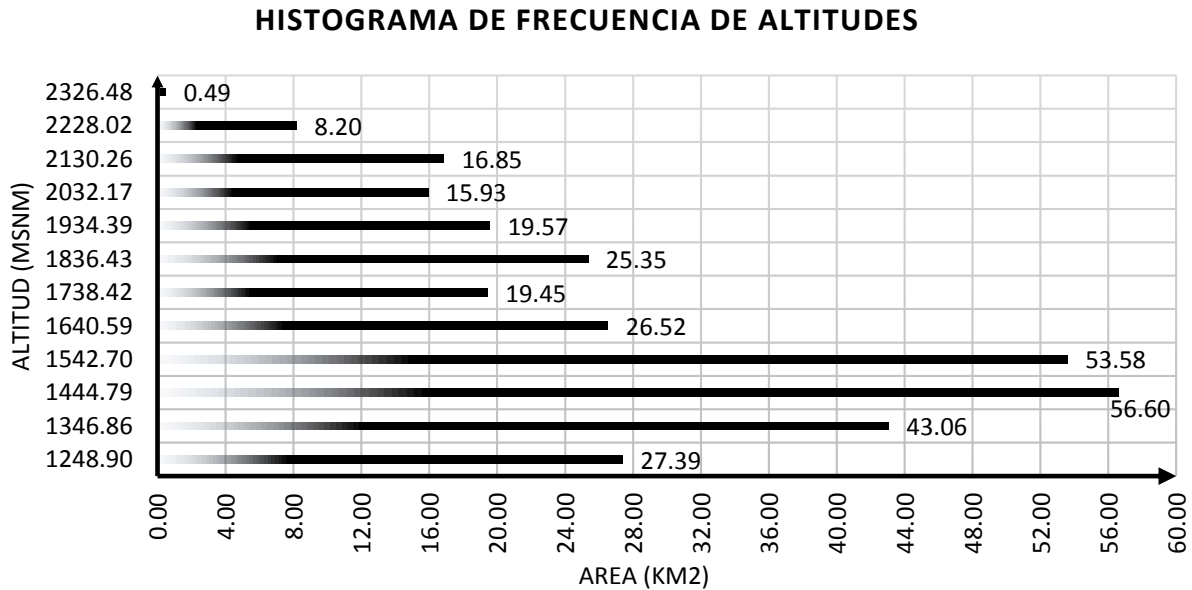
¹⁷ BEJAR, Maximo Villon. *Hidrología*. p. 37, 38.

Tabla IV. **Altitudes y áreas para histograma de frecuencias**

No.	Altitud			Área			
	Cota mínima (msnm)	Cota máxima (msnm)	Promedio (msnm)	Parcial (Km ²)	Acumulada (Km ²)	Parcial (%)	Acumulada (%)
1	1 200,00	1 297,81	1 248,90	27,39	27,39	8,75	8,75
2	1 297,92	1 395,79	1 346,86	43,06	70,45	22,51	13,76
3	1 395,84	1 493,73	1 444,79	56,60	127,05	40,59	18,09
4	1 493,76	1 591,63	1 542,70	53,58	180,63	57,71	17,12
5	1 591,68	1 689,51	1 640,59	26,52	207,15	66,19	8,47
6	1 689,68	1 787,17	1 738,42	19,45	226,60	72,40	6,21
7	1 787,51	1 885,35	1 836,43	25,35	251,95	80,50	8,10
8	1 885,49	1 983,29	1 934,39	19,57	271,52	86,75	6,25
9	1 983,36	2 080,99	2 032,17	15,93	287,45	91,84	5,09
10	2 081,39	2 179,13	2 130,26	16,85	304,30	97,23	5,38
11	2 179,18	2 276,85	2 228,02	8,20	312,50	99,84	2,62
12	2 277,96	2 375,00	2 326,48	0,49	312,99	100,00	0,16
				312,99			100

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Histograma de frecuencias altimétricas**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Excel.

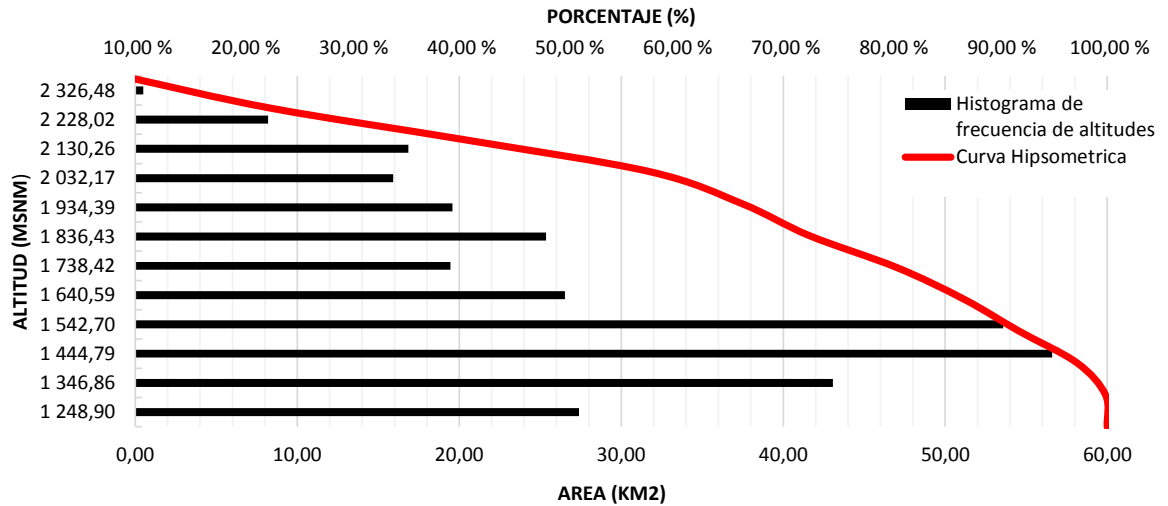
2.3.5. Curva hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de variación de la elevación de varios terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser inclinada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de varias elevaciones.

También se puede decir que la curva hipsométrica es aquella que, puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación que existe entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud.

Figura 6. **Curva hipsométrica**

Histograma de frecuencia de altitudes y curva hipsométrica



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Excel.

2.3.6. Índice de compacidad (K)

El índice de compacidad de una cuenca, definida por *Gravellious*, expresa la relación entre el perímetro de la cuenca, y el perímetro equivalente a una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca, la expresión matemática del índice de compacidad se muestra a continuación:

$$K = \frac{\text{Perímetro de la subcuenca}}{\text{Perímetro de un círculo de igual área}}$$

En donde luego de hacer una serie de ajustes matemáticos obtenemos la ecuación del índice de compacidad en función del área y perímetro de la cuenca.

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dicho índice de compacidad expresa la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la esorrentía, prácticamente en las características de un hidrograma. Si $K = 1$, la cuenca será de forma aproximadamente circular, y que por lo general se espera que para cuencas alargadas tenga un índice de compacidad menor a 1 ($K > 1$).

Las cuencas de forma alargada, reduce la probabilidad de que la superficie sea cubierta en su totalidad por un evento de precipitación, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río. Ya que el índice de compacidad indica de manera aproximada la respuesta que tiene una cuenca ante un evento de precipitación, se realizó el cálculo del índice de compacidad para la subcuenca del río Villalobos, obteniéndose un valor de $K = 1,54$.

2.3.7. Factor de forma

El factor de forma expresa la relación matemática entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud de cauce principal. A medida que el coeficiente de forma de una cuenca determinada sea inferior, estará sujeta a avenidas mayores, caso contrario a una cuenca del mismo tamaño, pero con mayor coeficiente de forma. Este factor representa condiciones inversas al índice de compacidad o índice de *Gravellius*.

$$F = \frac{\text{Ancho}}{\text{Longitud}} = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Para la cuenca en análisis se obtuvo un factor de forma de 0,33, donde se tomó en cuenta el área de la cuenca de 312,99 Km² y una longitud de cauce principal de 30,66 Km.

2.3.8. Pendiente media del cauce principal

“El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico, como por ejemplo para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundación.”¹⁸

También asimismo se dice que la pendiente del cauce principal influye sobre la velocidad de flujo, y debe de formar parte de un papel importante en la forma de hidrograma unitario.

En términos generales se puede decir que la pendiente de un tramo de un cauce de un río, se puede considerar como la razón entre el desnivel de los extremos del tramo y la longitud horizontal del mismo.

$$S = \frac{\text{Diferencia entre cota máxima y mínima del cauce (m)}}{\text{Longitud del cauce (m)}}$$

En el caso del cauce principal de la subcuenca del río Villalobos se obtuvo una cota máxima de 2 419,07 msnm y una mínima de 1200 msnm comprendida entre la misma una longitud de cauce de 30,66 Km. Obteniendo así una pendiente media del cauce de 3,98 %.

¹⁸ BEJAR, Maximo Villon. *Hidrología*. p. 54.

2.3.9. Orden de las corrientes de agua

El orden de las corrientes, es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Para hacer esta clasificación, se requiere de un plano de la cuenca que incluya tanto corrientes perennes como intermitentes.

“El procedimiento más común para esta clasificación, es considerar como corrientes de orden uno, aquellas que no tienen ningún tributario; de orden dos a las que solo tiene tributarios de orden uno; de orden tres, aquellas corrientes con dos o más tributarios de orden dos, etc.”¹⁹

Así, el orden de la principal, indicará la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca, para esta investigación de la subcuenca del río Villalobos se obtuvo un orden de corriente 4. A continuación, se presenta de manera gráfica la orden de corrientes de una cuenca, así como el mapa de orden de corrientes para la subcuenca en estudio.

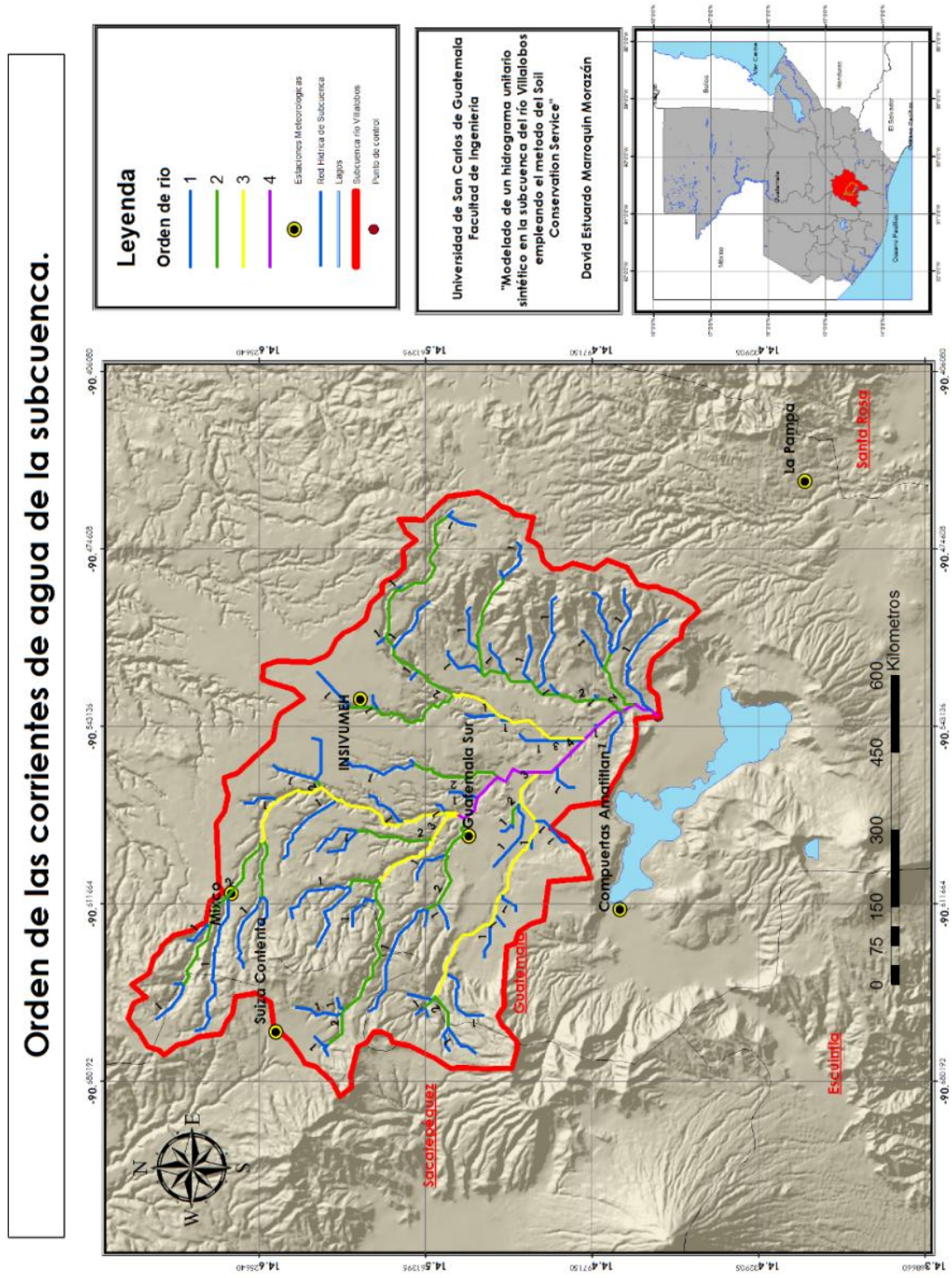
Figura 7. Orden de corrientes de una cuenca



Fuente: BEJAR, Maximo Villon. *Hidrología*.

¹⁹ BEJAR, Maximo Villon. *Hidrología*. p. 61.

Figura 8. Orden de corrientes de subcuenca del río Villalobos



Fuente: elaboración propia, empleando ArcGIS

2.3.10. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje proporciona una información más real que la densidad de corrientes, ya que esta se expresa como la longitud de las corrientes, por unidad de área, la siguiente expresión matemática expresa dicha relación.

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

Donde D_d representa la densidad de drenaje, L indica la longitud total de las corrientes perennes o intermitentes en Km y por último la variable A que indica el área total de la cuenca expresada en Km².

La densidad de drenaje, es un parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la subcuenca. También da una idea sobre el grado de cobertura que existe en la subcuenca.

Valores altos representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables. Por lo contrario, valores bajos, indican suelos duros, pocos erosionables o muy permeables y cobertura vegetal densa.²⁰

²⁰ BEJAR, Maximo Villon. *Hidrología*. p. 63, 64.

Tabla V. **Parámetros morfométricos de subcuenca**

Área de subcuenca	312,99 Km ²
Longitud total de corrientes	227,69 Km
Cota máxima	2 419,07 msnm
Cota mínima	1 200 msnm
Altitud media	1 582,30 msnm
Altitud más frecuentada	56,60 msnm
Pendiente promedio de la subcuenca	19,18 %
Longitud del cauce principal	30 660,48 m
Longitud total de la red hídrica	227,69 Km
Orden de la red hídrica	4 unidades
Pendiente media de la red hídrica	2,30 %
Tiempo de concentración	217,87 min
Tiempo de retraso = 0,6*Tc	130,72 min
Factor de compacidad	1,54
Factor de forma	0,33
Densidad de drenaje	0,73 Km/km ²

Fuente: elaboración propia.

Por medio de los parámetros antes mencionados se obtuvo una densidad de drenaje de 0,73 Km/Km², indicando que es una subcuenca con un drenaje regular, ya que como indica *Linsley* en su bibliografía, que estos valores oscilan entre 0,5 Km/Km² y 3,5 Km/Km² para cuencas con drenaje pobre y bien drenadas respectivamente.

3. RÉGIMEN DE LLUVIA Y VARIABILIDAD

La subcuenca del río Villalobos se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca del río María Linda, dentro de la subcuenca del río Michatoya. El régimen de lluvia que se presenta en la parte alta de la cuenca del río María Linda, donde se encuentra ubicada la subcuenca Villalobos comprende entre los valores de 750 a 1 000 mm al año, en la parte media de la cuenca María Linda se tiene una estimación de 2 500 a 3 000 mm de precipitación al año y por último en la parte baja de la cuenca una precipitación aproximada de 1 500 a 2 000 mm al año.

Para el análisis de la variabilidad y régimen de lluvia de las estaciones de la subcuenca del río Villalobos se utilizaron seis estaciones meteorológicas con longitud de registros entre 34 y 46 años, siendo la estación Insivumeh con mayor registro de precipitación.

Tabla VI. **Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de régimen de lluvia y variabilidad**

No.	Estación	Institución	Tipo	Inicio	Fin	Longitud de años	Porcentaje de datos faltantes (%)
1	La Pampa	INDE	B	1982	2016	34	1,39
2	Compuertas Amatitlán	INDE	B	1977	2016	39	1,8
3	Guatemala Sur	INDE	B	1979	2016	37	1,43
4	Suiza Contenta	Insivumeh	B	1972	2016	44	5,96
5	Insivumeh	Insivumeh	A	1970	2016	46	0,77
6	Mixco	Ing.Elibar Montejo	C	2007	2016	9	7,45

Fuente: INDE e Insivumeh. *Departamento de Hidrología* (2016).

En el presente capítulo se podrá observar la variabilidad y régimen de lluvia específicamente de la subcuenca Villalobos, por medio de gráficos y parámetros estadísticos.

3.1. Régimen de Lluvias

3.1.1. Clasificación de series

La clasificación de las series de precipitación de las distintas estaciones en estudio se presentará de manera anual, mensual, diaria y máxima diaria anual. Previo a esta presentación se utilizó el método de promedio aritmético propuesto en la metodología de Aparicio para la completación de datos faltantes de las series de datos.

3.1.2. Lluvia anual

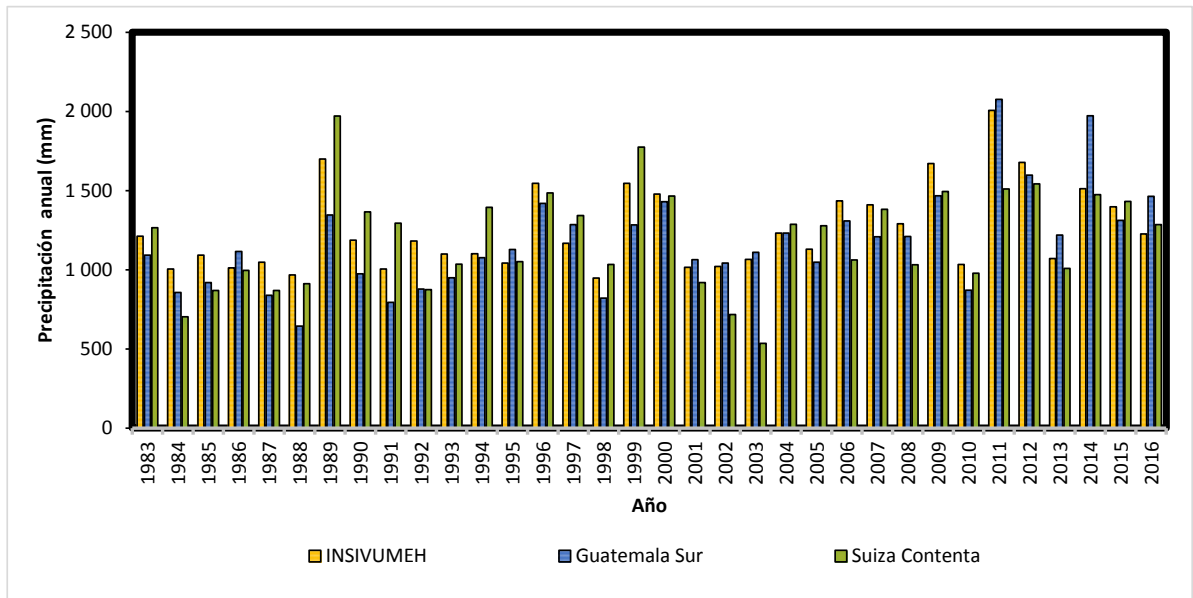
La lluvia anual que se ha presentado en las estaciones de la subcuenca del río Villalobos varía según sea su ubicación dentro en la cuenca María Linda. Ya que se ha podido observar por medio de registros pluviométricos la variación que existe entre cada estación en análisis. A continuación, se podrá observar la relación que existe entre la altitud y la cantidad de lluvia registrada.

Tabla VII. **Precipitación media anual en subcuenca Villalobos**

Estación	Media Anual (mm)	Elevación (msnm)	Ubicación en cuenca María Linda
Compuertas Amatitlán	1 129	1 190	Parte Alta
La Pampa	2 271	1 300	Parte Media
Insivumeh	1 251	1 502	Parte Alta
Suiza Contenta	1 178	2 105	Parte Alta
Guatemala Sur	1 195	1 360	Parte Alta

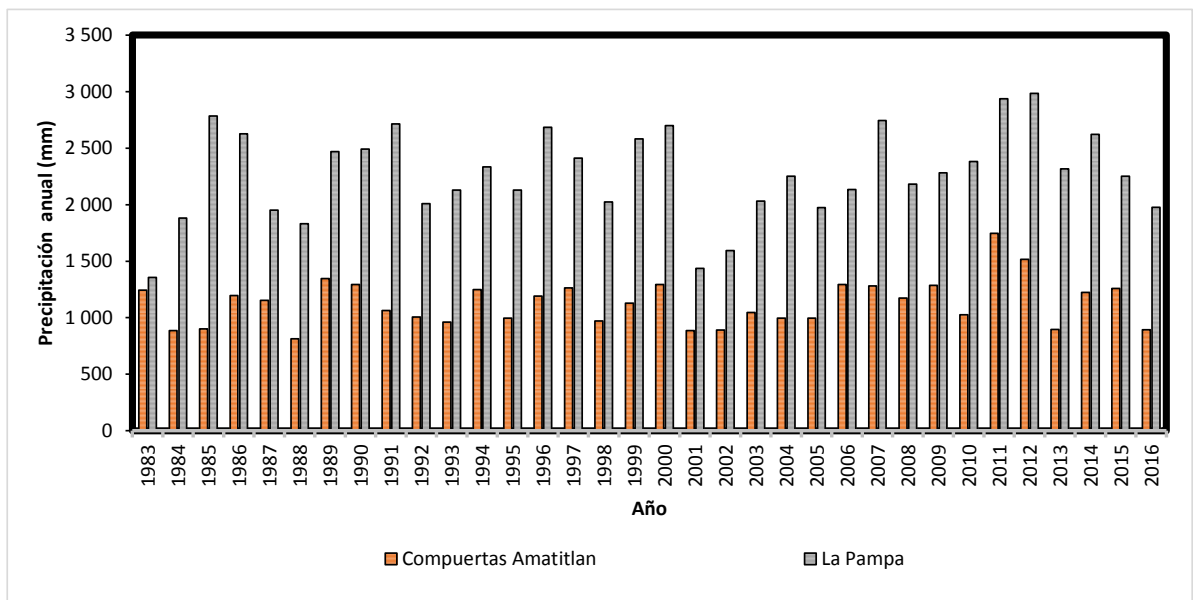
Fuente: INDE. *Departamento Hidrología.*

Figura 9. **Precipitación anual (1983- 2016) estaciones Guatemala Sur, Suiza Contenta e Insivumeh**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 10. **Precipitación anual (1983- 2016) estaciones Compuertas Amatitlán y La Pampa**

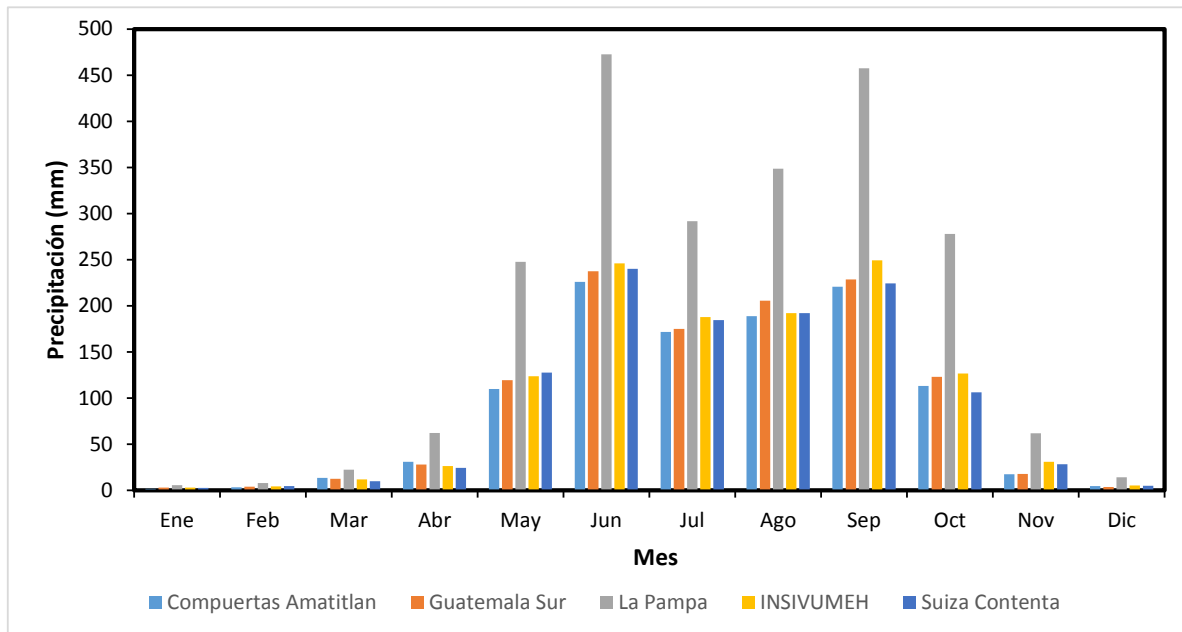


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.3. Lluvia mensual

La lluvia mensual consiste en la suma de todas las precipitaciones registradas a lo largo de un mes, por el contrario, los valores medios registrados en cada mes se les llama media mensual. Teniendo en cuenta el concepto básico anteriormente descrito de lluvia mensual podemos observar en la figura No. 11 la mayor acumulación de precipitación se encuentra entre los meses de junio, agosto y septiembre. Asimismo, se puede observar que la estación de La Pampa es la que cuenta con mayor registro pluviométrico debido a la ubicación de la misma dentro de la cuenca María Linda.

Figura 11. **Precipitación mensual de estaciones Compuertas Amatitlán y La Pampa, Guatemala Sur, Suiza Contenta e Insivumeh**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VIII. **Parámetros estadísticos de lluvia mensual**

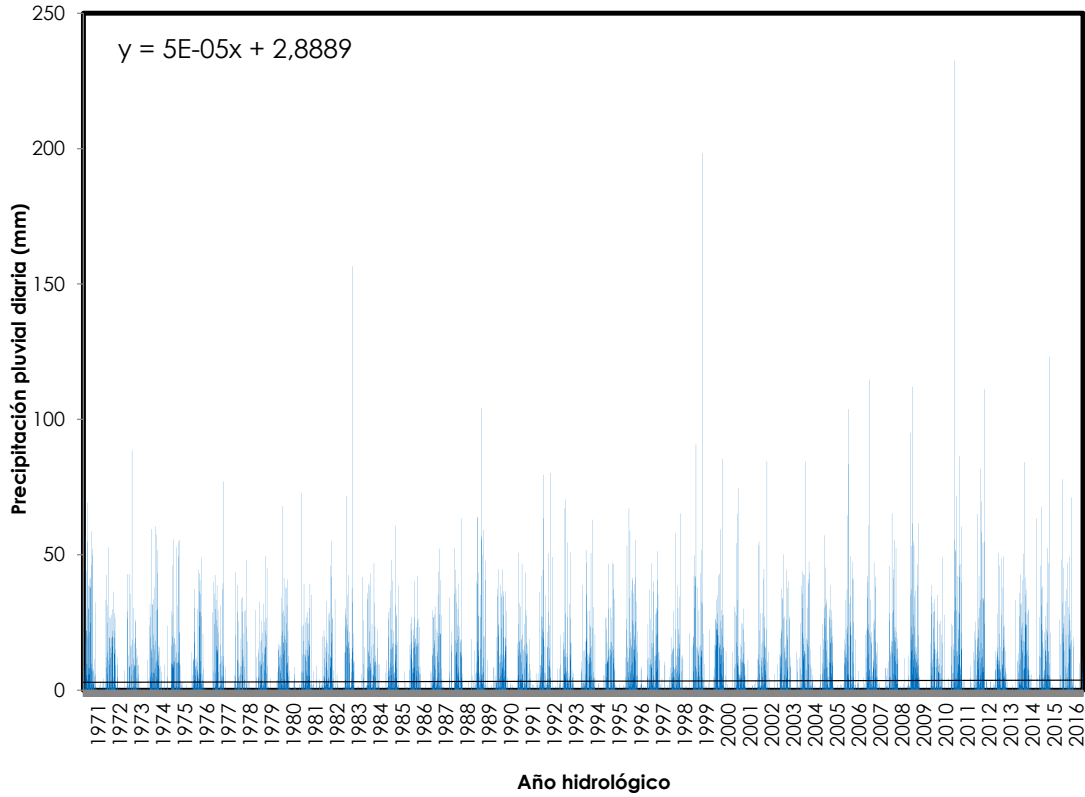
Estación	Media	Desv. Estándar	CV	Curtosis
Compuertas Amatitlán	92	102	1,11	0,07
La Pampa	189	198	1,05	-0,41
Insivumeh	101	112	1,12	0,34
Suiza Contenta	96	113	1,18	0,79
Guatemala Sur	97	113	1,17	1,95

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Lluvia diaria

La lluvia diaria es la cantidad de lluvia registrada en un lapso de 24 horas continuas, comprendidas entre las 7:00 a.m. del día actual y las 7:00 p.m. del día posterior. Por lo tanto, se puede mencionar que en el lapso de un mes la lluvia diaria se puede presentar de manera máxima y mínima. Esto es necesario mencionarlo ya que el 30 de mayo del año 2 010 se presentó una lámina de lluvia máxima en la estación de el Insivumeh de 233 mm en un lapso de 24 horas, el dato más alto registrado en el periodo (1983 – 2016).

Figura 12. **Precipitación diaria en estación Insivumeh**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Parámetros estadísticos de lluvia diaria**

Estación	Media	Desv. Estándar	CV	Curtosis
Compuertas Amatitlán	3,02	8,12	2,69	48,84
La Pampa	6,22	13,74	2,21	17,79
Insivumeh	3,31	9,15	2,77	63,03
Suiza Contenta	3,15	8,06	2,56	28,24
Guatemala Sur	3,14	9,19	2,92	57,76

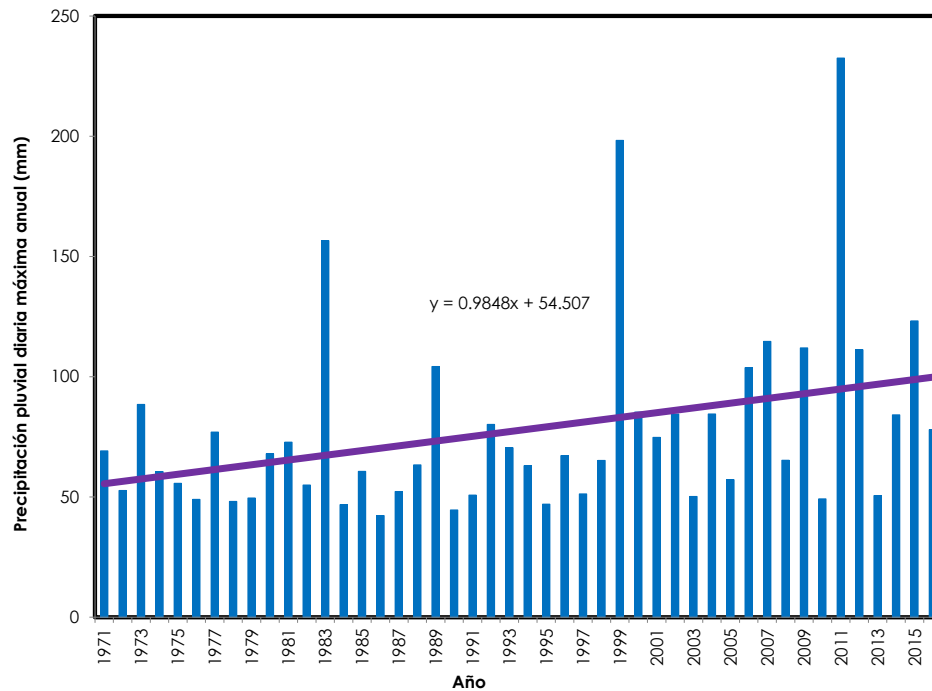
Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Lluvia diaria máxima anual

La lluvia máxima es el máximo dato diario registrado en un año, esto se realiza con el fin de determinar una tendencia sobre este régimen de lluvia, ya que nos mostrará si dicho régimen tiene una tendencia al incremento o decremento de la intensidad de la lluvia en una estación, en específico.

Es por ello que se realizó el análisis estadístico y gráfico de las estaciones que se encuentran ubicadas en la subcuenca del río Villalobos, donde se mostró una tendencia positiva hacia este tipo de eventos máximos. Este comportamiento se pudo visualizar en la siguiente gráfica.

Figura 13. Precipitación diaria máxima anual en estación Insivumeh



Fuente: elaboración propia.

3.2. Variabilidad de la lluvia anual

3.2.1. Técnica del error estándar de ajuste

Kite, en el año 1988, propuso un estadístico que permite seleccionar la mejor opción entre diferentes modelos en competencia para el ajuste de una muestra de datos Q_i^j para $i= 1, 2, 3, \dots, n_j$ de un sitio j . Este método estadístico es conocido como el error cuadradito estándar y se obtiene con la siguiente ecuación.

$$EEA = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\bar{Q}_T^j - Q_T^j)^2}{n_j - m_p} \right]^{1/2}$$

Donde:

Q_T^j : Son los eventos Q_i^j ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asociado: $T_r = \frac{n_j+1}{m}$ y una probabilidad de no excedencia $P = 1 - \frac{1}{T}$

n_j : Longitud de años del registro analizado

m : número de orden del registro

\bar{Q}_T^j : Eventos estimados por cierta distribución de probabilidad para cada periodo de retorno T asociado a la muestra ordenada Q_i^j .

m_p : Numero de parámetros de la distribución ajustada.

Este método se utiliza para generar el intervalo de confianza para la predicción. Mientras más bajo sea el error estándar, más exacta será la respuesta a estimar. A continuación, se presenta una tabla resumen, donde se muestra los diferentes errores que existieron para cada una de las distribuciones estadísticas que se aplicaron a la serie de datos de lluvia de las estaciones meteorológicas en estudio.

Tabla X. **Errores estándar de distribuciones estadísticas para mejor ajuste**

Estación meteorológica	Distribución	Error estándar
La Pampa	Fréchet "ML"	5,89
	Log Pearson III "MC"	6,85
	Fréchet "MC"	5,94
	Log Pearson III "ML"	7,93
	Gumbel "MC"	8,81
Compuertas Amatitlán	Fréchet "ML"	5,81
	Log Pearson III "MC"	6,20
	Fréchet "MC"	5,87
	Log Pearson III "ML"	6,50
	Log Normal 3 P."MC"	8,18
Guatemala Sur	Fréchet "ML"	6,14
	Log Pearson III "MC"	7,54
	Fréchet "MC"	6,26
	Log Pearson III "ML"	8,99
	Log Normal 3 P."MC"	7,99
Insivumeh	Fréchet "ML"	5,71
	Log Pearson III "MC"	5,55
	Fréchet "MC"	5,93
	Log Pearson III "ML"	4,93
	Log Normal 3 P."MC"	5,77
Suiza Contenta	Fréchet "ML"	4,37
	Log Normal 3 P."MC"	5,65
	Fréchet "MC"	4,31
	Gumbel "ML"	5,99
	Gumbel "MC"	5,85

Fuente: elaboración propia.

3.3. Tendencia

La estimación de la magnitud de la tendencia se realiza mediante estimadores no paramétrico, robusto e insesgado. La tendencia de largo plazo fue evaluada mediante pruebas estadísticas paramétricas como *t* de *student* y no paramétricas como las de Mann-Kendall y SROC.

El *test t student* requiere que las observaciones sean independientes y que la muestra provenga de una población normalmente distribuida. La forma del estimador es:

$$T = \frac{bS_x\sqrt{(N-1)}}{S_{yx}}$$

Donde: *b* es la pendiente de la recta de regresión, que se asume equivalente a la tendencia de largo plazo; S_x es el desvío estándar de la variable independiente; *n* número de datos; S_{xy} es el error típico; *N* número de observaciones. El estimador *T* calculado, se compara con el valor crítico para un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

El test no paramétrico SROC, muy usado por la Organización Meteorológica Mundial (*Kundzewicz y Robson*). Se basa en la asignación de un valor *R* a cada observación, igual a 1 para la mayor observación y *N* para la menor. Posteriormente se calcula la diferencia entre el valor asignado R_i y la posición relativa de la observación *i* y el estadístico *T* como:

$$r_s = 1 - \frac{6 * \sum_{i=1}^N (R_i - i)^2}{N(N^2 - 1)}$$

$$T = r_s \sqrt{\frac{(N - 2)}{1 - r_s^2}}$$

El estadístico T posee distribución *t* de *Student* con N-2 grados de libertad. La tendencia que se observó mediante el método de test no paramétrico SROC en las estaciones de la subcuenca del río Villalobos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XI. **Tendencia en las series mediante test no paramétrico, SROC**

Serie	Test		Distancia	Tendencia	
	calculado	teórico		Sentido	Significancia
Compuertas Amatitlán					
Anual	1,88	2,03	0,15	Positivo	Ausente
Máxima	2,26	2,03	0,23	Positivo	Presente
Días con lluvia	1,54	2,03	0,49	Negativo	Ausente
La pampa					
Anual	1,03	2,04	1,01	Positivo	Ausente
Máxima	0,46	2,04	1,58	Positivo	Ausente
Días con lluvia	0,79	2,04	1,24	Positivo	Ausente
Insivumeh					
Anual	3,08	2,02	1,07	Positivo	Presente
Máxima	2,58	2,02	0,57	Positivo	Presente
Días de lluvia	1,60	2,02	0,42	Positivo	Ausente
Suiza contenta					
Anual	2,69	2,02	0,67	Positivo	Presente
Máxima	0,67	2,02	1,35	Positivo	Ausente
Días con lluvia	2,98	2,02	0,96	Positivo	Presente
Guatemala sur					
Anual	4,84	2,03	2,81	Positivo	Presente
Máxima	2,87	2,03	0,84	Positivo	Presente
Días con lluvia	1,38	2,03	0,65	Positivo	Ausente

Fuente: INDE e Insivumeh. *Departamento de hidrología.*

3.3.1. Lluvia anual

La tendencia de la lluvia anual se ha mostrado de manera positiva en cada una de las estaciones, evidenciando el aumento en la acumulación de lluvia con el transcurrir de los años. Esto debido a varios factores, como lo es el efecto del fenómeno El Niño y La Niña, así como al mal uso del suelo. Ya que este último en mención provoca que la mayor parte de la precipitación que se genera en un determinado lugar fluya en forma de escorrentía y no se infiltre a las capas freáticas, quedando este expuesto a la insolación y generando mayor vapor de agua que asciende para seguir con el ciclo hidrológico.

3.3.2. Eventos Extremos

El análisis de eventos extremos se enfatizó en la precipitación diaria máxima anual de las series de datos de cada estación, en donde se realizó un análisis de tendencia a cada una de ellas. El cual nos indicó que en las estaciones meteorológicas Guatemala Sur, Compuertas Amatitlán e Insivumeh se tiene una significancia presente, alejándose de los valores límites críticos y rechazando la hipótesis nula, lo cual indica que estas series de datos no es estacionaria.

Asimismo, se puede mencionar que una serie estacionaria se refiere a aquellas series que provienen de regímenes hidrológicos que no han sufrido alteraciones naturales y artificiales. Tal es el caso que se presentó en las estaciones meteorológicas, La Pampa y Suiza Contenta.

3.4. Independencia

3.4.1. Prueba de Anderson

La prueba de independencia de Anderson hace uso del coeficiente de autocorrección serial r_k^j para diferentes tiempos de retraso k. en el caso de analizar un solo registro, entonces $j=1$. La expresión para obtener el coeficiente de autocorrección serial de retraso k se presenta a continuación la ecuación.

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j) * (Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}$$

Para: $k=1, 2, \dots, \frac{n_j}{3}$

Donde:

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Además, los límites al 95 % de confianza para r_k^i se pueden obtener con la ecuación:

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96(\sqrt{(n_j - k - 1)})}{n_j - k}$$

“La gráfica de los valores estimados para r_k^j (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se denominan Correlogramas de Muestra. Si no más del 10 % de los valores r_k^j sobrepasan los límites de confianza, se dice que la serie Q_i^j es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.”²¹

²¹ BERTONI, Juan Carlos. *Catedra de hidrología y procesos hidráulicos, Clase de estadística hidrológica.* p. 6.

Los parámetros obtenidos de esta prueba se muestran a continuación en la siguiente tabla, así como en el anexo se muestran los correlogramas obtenidos de las series analizadas.

Tabla XII. **Parámetros de prueba de Anderson de eventos extremos**

Estación	Desfases k	Coeficiente (r)		Datos en rango (%)	Conclusión
		Min.	Max.		
Compuertas Amatitlán	19	-0,26	0,39	100,00 %	Independiente
La Pampa	16	-0,37	0,48	93,75 %	Independiente
Guatemala Sur	18	-0,15	0,51	88,89 %	Dependiente
Insivumeh	22	-0,26	0,38	90,90 %	Independiente
Suiza Contenta	21	-0,35	0,23	100,00 %	Independiente

Fuente: elaboración propia.

3.5. Homogeneidad

3.5.1. Prueba t Student

La prueba *t* de *Student* menciona que si se considera una serie Q_i^j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, del sitio *j*, la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$, entonces el estadístico de prueba se define con la siguiente ecuación:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 * s_1^2 + n_2 * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde:

\bar{x}_1, s_1^2 : Son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1 .

\bar{x}_2, s_2^2 : Son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2 .

El valor absoluto de t_d se compara con el valor de la distribución t de *Student* de dos colas y con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel de significancia igual al 5 %.

Si y solo si el valor absoluto de t_d es mayor que aquel de la distribución t de *Student*, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia, y por lo tanto la serie Q_i^j se considera no homogénea. En caso contrario la serie es homogénea.

A continuación, se presenta la tabla obtenida por medio de la prueba de t *Student* para las distintas estaciones meteorológicas.

Tabla XIII. **Parámetros de prueba t *Student* para eventos extremos**

Estación	t estimado	t teórico	Conclusión
Compuertas Amatitlán	1,06	2,03	Homogénea
La Pampa	0,09	2,04	Homogénea
Guatemala Sur	2,62	2,03	No Homogénea
Insivumeh	2,07	2,02	No Homogénea
Suiza Contenta	1,28	2,02	Homogénea

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar claramente que en las estaciones Guatemala Sur e Insivumeh presentan una variación considerable en los valores de t estimado y teórico, dando como resultado que la serie de datos correspondientes a cada estación sea no homogénea. Esto es debido a que en el área de influencia de estas estaciones se ha visto alterada a causa de la intervención humana.

3.5.2. Prueba de *Cramer*

La prueba de *Cramer* se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad, al igual como es el caso de la prueba t de *Student*. Esta prueba de confirma homogeneidad en el registro Q_i^j de la serie j para $i = 1, 2, 3, \dots, n_j$, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un periodo de tiempo a otro. Con este propósito se considera se consideran tres bloques, el primero de tamaño total de la muestra, n_j , el segundo de tamaño n_{60} (últimos 60 % de los valores de la muestra) y el tercero de tamaño n_{30} (últimos 30 % de los valores de la muestra).

La prueba compara el valor \bar{Q}^j del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos \bar{Q}_{60}^j y \bar{Q}_{30}^j . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los dos bloques.

$$\bar{Q}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Para una sola muestra analizada $j=1$.

$$S_Q^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} * \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{1/2}$$

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}} \qquad \bar{Q}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

$$\tau_{60}^j = \frac{\bar{Q}_{60}^j - \bar{Q}^j}{S_Q^j}$$

$$\tau_{30}^j = \frac{\bar{Q}_{30}^j - \bar{Q}^j}{S_Q^j}$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w * (n_j - 2)}{n_j - n_w * [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j|$$

El estadístico t_w tiene distribución t de *Student* de dos colas con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel de significancia igual al 5 %.

Si y solo si el valor absoluto de t_w para $w = 60$ $w = 30$, es mayor que el de la distribución t de *Student* se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie Q_i^j se considera no homogénea.

En caso contrario la serie se considerará homogénea. A continuación, se muestra el resumen de los datos obtenidos por medio de la prueba de *Cramer*.

Tabla XIV. **Parámetros de prueba de *Cramer* para eventos extremos**

Estación	t estimado		t teórico		Conclusión
	t_{30}	t_{60}	t_{30}	t_{60}	
Compuertas Amatitlán	1,93	0,90	2,03	2,03	Homogénea
La Pampa	0,79	0,70	2,04	2,04	Homogénea
Guatemala Sur	1,99	1,97	2,03	2,03	Homogénea
Insivumeh	1,72	1,72	2,02	2,02	Homogénea
Suiza Contenta	0,32	0,94	2,02	2,02	Homogénea

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, todas las series de cada estación indican que las mismas son homogéneas, caso contrario al de la prueba de *t Student*, esto debido a que la prueba de *Cramer* es más sensible al momento de calcular la homogeneidad de las series.

3.6. Análisis de Frecuencia

El análisis de frecuencia corresponde al ploteo de las series de tiempo máximo conjuntamente con las distintas distribuciones estadísticas (Log Normal, Gamma, Pearson, Gumbel) con sus distintos momentos, ya sean convencionales o lineales. Posteriormente a esto se procede a seleccionar la distribución que más se ajusta a la serie analizada, esto puede ser de manera gráfica o estadística.

3.6.1. Parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos pueden estimarse a las series de tiempo con datos originales. Dichos parámetros son esenciales en la estadística para crear un modelo aproximado de la realidad. El análisis de series de datos o de gran cantidad puede llegar a ser inoperativos, por lo que se hace necesario realizar un resumen que permita tener una idea global de la serie o población, compararla con otras, comprobar su ajuste a un modelo ideal, realizar estimaciones sobre datos desconocidos de la misma y, en definitiva, tomar decisiones.

Asimismo, juntamente con el análisis de datos también existe lo que es la transformación de parámetros estadísticos el cual es una técnica muy usual en este tipo de análisis, siendo su objetivo principal la disminución de los parámetros de forma, sesgo y curtosis así mismo se mejora el coeficiente de variación. A continuación, se presente el resumen de dichos parámetros:

Tabla XV. **Parámetros estadísticos de lluvia anual**

Estación	Media	Desviación. Estándar	CV	Curtosis	Máx.	Mín.
Compuertas Amatitlán	1 107,58	207,96	0,19	1,23	1 746,10	666,60
La Pampa	2 270,56	401,99	0,18	-0,21	2 984,90	1 357,03
Insivumeh	1 207,05	261,38	0,22	0,63	2 006,70	851,20
Suiza Contenta	1 150,35	311,28	0,27	-0,20	1 969,98	534,40
Guatemala Sur	1 149,93	305,06	0,27	2,18	2 075,80	643,87

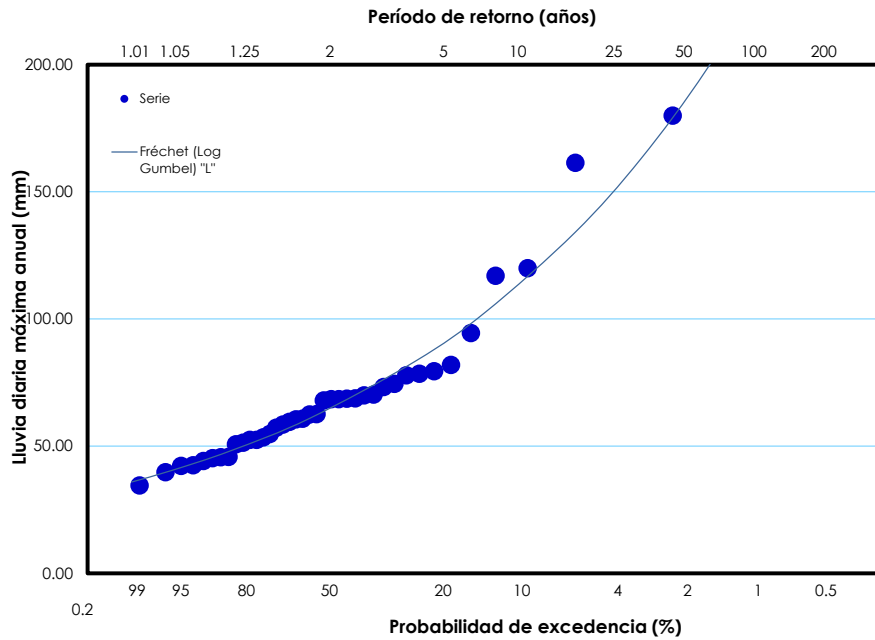
Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Ajuste

El ajuste de las series hacia las distribuciones teóricas de frecuencia se puede hacer de forma gráfica o estimaciones mediante pruebas estadísticas. Al momento de aplicar las pruebas estadísticas para determinar la distribución que más se ajuste a las series, se hace necesario realizar un análisis de errores para que por medio de ello se puede tener otro parámetro para la selección de distribuciones.

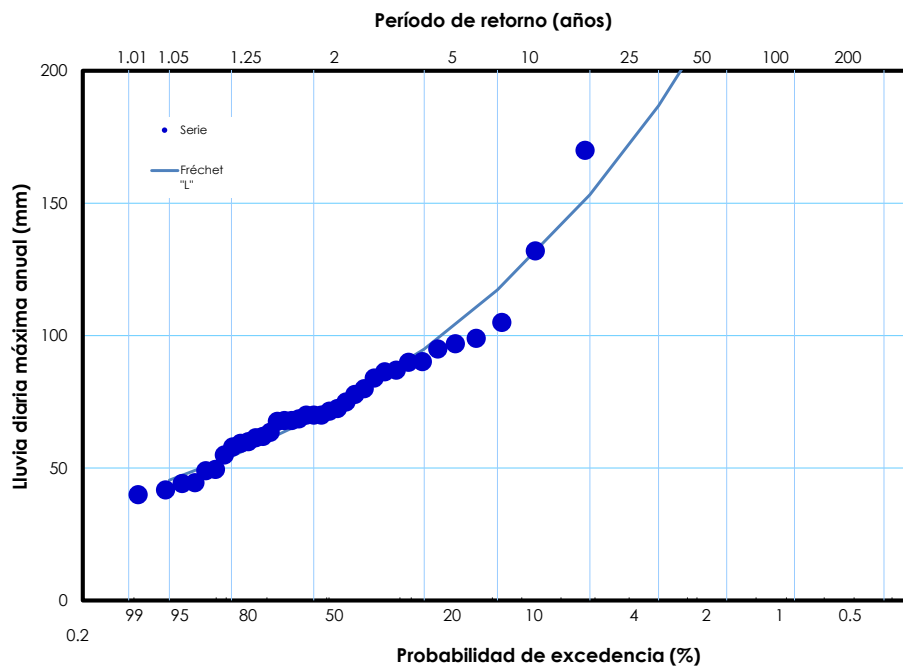
En el apartado de Técnica del error estándar de ajuste se muestran de manera numérica los tres mejores ajustes que se obtuvieron para las series de días de lluvia máxima anual, indicando que la mejor distribución que se ajusta es la de *Frechet* con momentos lineales. A continuación, se muestran únicamente los gráficos que obtuvieron un ajuste. Mostrándose en el apéndice de este informe todas las distribuciones que se utilizar para esta selección.

Figura 14. Ajuste estadístico para estación, Compuertas Amatitlán



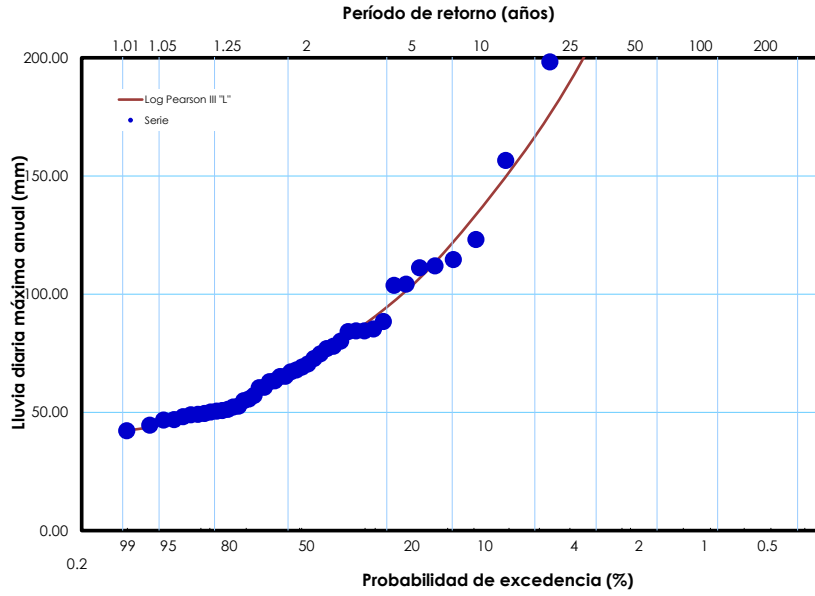
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 15. Ajuste estadístico para estación, Guatemala Sur



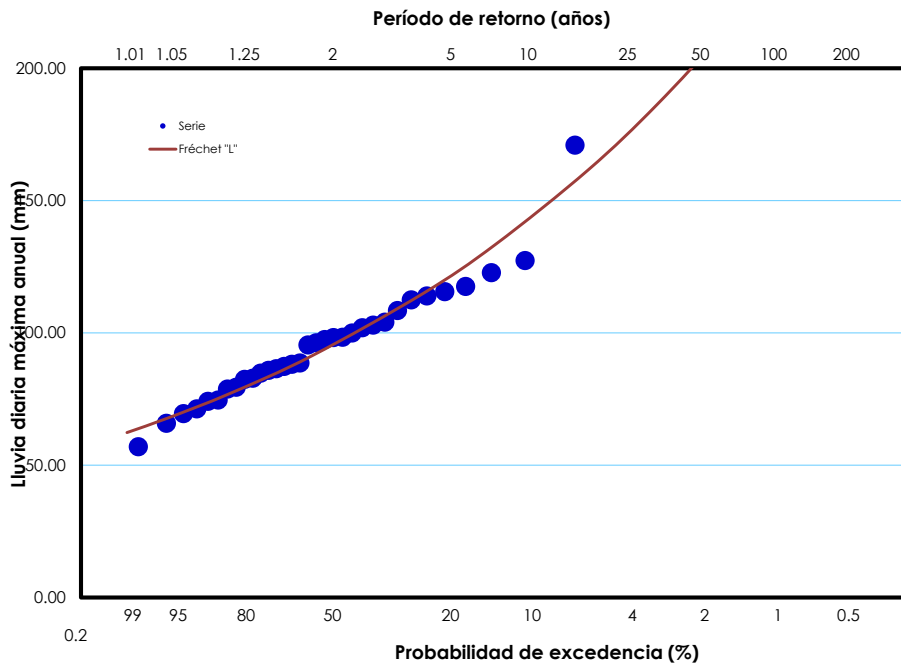
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 16. Ajuste estadístico para estación, Insivumeh



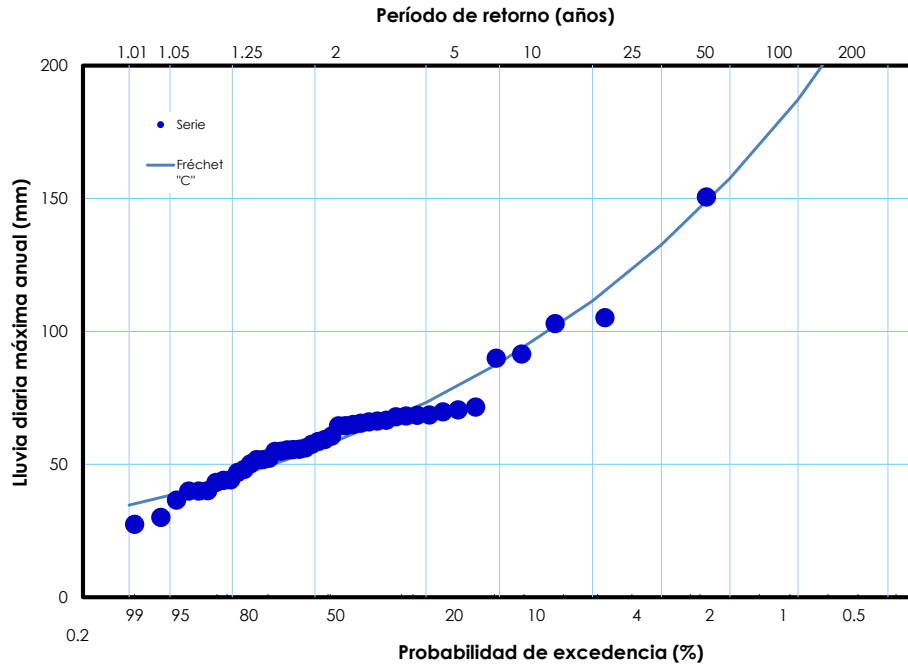
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 17. Ajuste estadístico para estación, La Pampa



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 18. **Ajuste estadístico para estación, Suiza Contenta**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.7. Estimación de lluvias de diseño

Para la estimación de lluvias de diseño en sus distintos periodos de retorno se utilizó el *software* HIDROESTA, el cual generó valores para cada distribución estadística utilizada. Para ello se utilizó series con valores extremos; seleccionando la distribución que presentó el menor error estándar a las mismas.

Tabla XVI. **Eventos de diseño asociados a lluvias diarias máximas anuales**

Periodo de Retorno	Compuertas Amatitlán	La Pampa	Guatemala Sur	Insivumeh	Suiza Contenta
1,01	35,92	62,34	---	42,04	34,64
1,05	40,33	67,79	45,43	44,54	38,39
1,25	48,16	77,08	54,37	51,13	44,94
2	60,90	91,34	68,95	65,19	55,35
5	83,50	114,77	94,91	94,52	73,25
10	102,91	133,50	117,27	121,57	88,18
25	134,02	161,60	153,21	166,59	111,47
50	163,02	186,21	186,81	209,63	132,63
100	198,01	214,33	227,46	262,43	157,62
200	240,35	246,58	276,74	327,01	187,20
500	310,35	296,66	358,47	434,47	234,87

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que se espera tener mayores eventos de precipitación en aquellas estaciones ubicadas en donde existe una intervención humana considerable; no obstante, no es aplicable en todos los casos, ya que ante fenómenos atmosféricos no es aplicable esta afirmación. Lo antes mencionado se refleja en los valores de diseño que obtuvieron.

La estación de Guatemala Sur e Insivumeh son las que presentan mayor intervención humana, debido al proceso de urbanización y al mal uso del suelo. Caso contrario se observan en las estaciones, La Pampa y Suiza Contenta,

debido a que estas estaciones se encuentran en un entorno donde la urbanización no ha afectado considerablemente sus factores climáticos.

“Como se ha escrito en otros informes relacionados con el tema de eventos extremos se ha dicho que no es recomendable realizar proyecciones de periodos de retorno mayor a dos o tres veces la longitud de las series de datos”²²

Ya que las series con las que se han trabajado oscilan entre 34 y 46 años de registro, las proyecciones promedio se encontrarían en 100 años de periodos de retorno.

²² FUENTES MONTEPEQUE, Juan Carlos. *Impacto hidrológico asociado al proceso de urbanización de la subcuenca del río Villalobos, Guatemala*. p.96

4. MODELADO DE PRECIPITACIONES REALES

4.1. Distribución de precipitaciones en subcuenca

La distribución fundamental de entrada al sistema es la precipitación, cuya distribución varía especialmente en función del esquema general de la circulación atmosférica y de un conjunto de factores locales entre los que se destacan la orografía, la acción del viento en superficie, la pendiente y la orientación del terreno.

Se conoce únicamente la información sobre la precipitación en los puntos donde disponemos de un aparato de medida o un punto de control, por lo que a partir de una información puntual diaria, mensual o anual se ha de obtener una distribución espacial de precipitaciones que, evidentemente será de manera aproximada a la que realmente se produjo en el lugar. En función del tratamiento espacial que se le dé a la precipitación se diferenciarán entre modelos de precipitación agregados y distribuidos.

Los primeros manejan un único valor medio de la lluvia para toda la cuenca. Los segundos dividen la cuenca en celdas, asignando a cada una de ellas valores que reflejan la variabilidad espacial del fenómeno mediante diversas metodologías. En función de los datos disponibles y la precisión necesaria en la modelación, se puede aplicar un tipo de modelos u otros.

Para el tratamiento de la información de precipitación con la que se cuenta en la subcuenca del río Villalobos, se emplearon dos métodos, siendo estos polígonos de *Thiessen* y el método de *Isoyetas*.

4.2. Polígonos de *Thiessen*

El método de polígonos de *Thiessen* se basa en ponderar las precipitaciones de cada pluviómetro en función de un área a_i de influencia que se calcula según un procedimiento de construcción de polígonos, que equivale a decir que en cada punto de la cuenca la precipitación es igual al pluviómetro más cercano.

Este método permite poder introducir información de los pluviómetros exteriores de la cuenca cuyo peso de área, en parte, está dentro de la misma. El método proporciona una distribución de lluvia discontinua. La información distribuida proporcionada se puede agregar con el área de cada polígono como factor de ponderación.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n a_i P_i}{A}$$

Donde:

a_i = Área asignada con el pluviómetro i con el método de polígonos de *Thiessen*

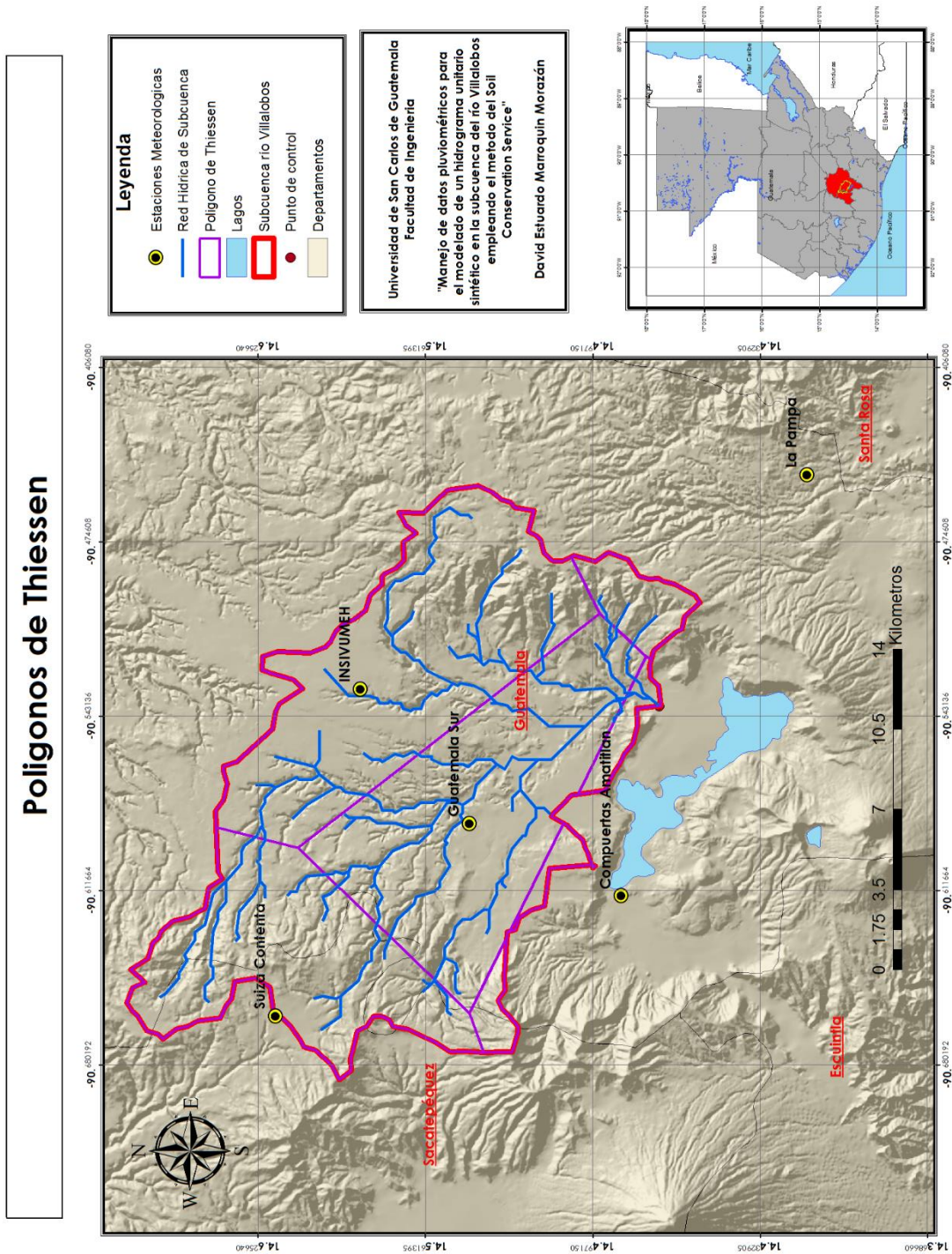
P_i = Precipitación en el pluviómetro i

P = precipitación media para la cuenca.

Por lo tanto, el método puede utilizarse de dos formas:

- Se determina la precipitación media de la cuenca aplicando la fórmula y se da un valor único para todos los puntos de la cuenca.
- A cada punto de la cuenca se le asigna el valor del pluviómetro correspondiente al polígono donde está incluido el punto. Este método es equivalente al método de la estación vecina más cercana.

Figura 19. Polígonos de *Thiessen* de subcuenca del río Villalobos



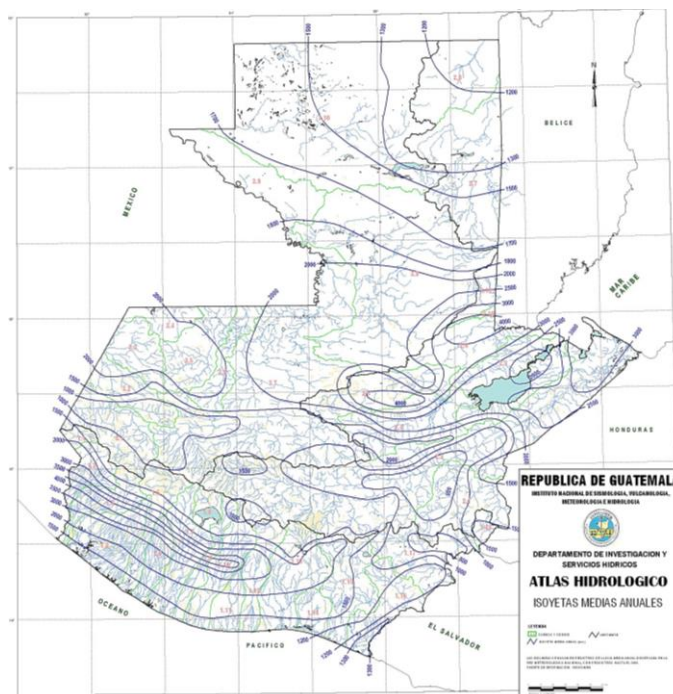
Fuente: elaboración propia, empleando ArcGIS.

4.3. Isoyetas

Para este método se necesita un plano de Isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones del área en estudio. Las Isoyetas son curvas que unen puntos con la misma cantidad de precipitación como se puede observar en la figura 20 de Isoyetas de una cuenca.

Este método es el más exacto, pero requiere un cierto criterio para trazar el plano de Isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las Isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto que entre mayor sea el número de estaciones meteorológicas dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con la cual se trace el plano de Isoyetas.

Figura 20. **Isoyetas en una cuenca**



Fuente: Insivumeh. Atlas Hidrológico. Isoyetas.

Para poder realizar este método, consiste en los siguientes pasos:

- Ubicar las estaciones dentro y fuera de la cuenca o subcuenca en estudio.
- Trazar las isoyetas, interpolando las diferentes alturas de precipitación entre las diversas estaciones, de modo similar a como trazar las curvas de niveles topográficos.
- Hallar las áreas A_1, A_2, A_3, A_n que se encuentran entre cada isoyeta
- Si P_0, P_1, P_n son las precipitaciones representadas por las Isoyetas respectivas, calcular la precipitación media utilizando la siguiente expresión matemática:

$$P_m = \frac{\frac{P_0 + P_1}{2} A_1 + \dots + \frac{P_{n-1} + P_n}{2} A_n}{A_1 + \dots + A_n}$$

$$P_m = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i$$

Donde:

P_m = Precipitación media.

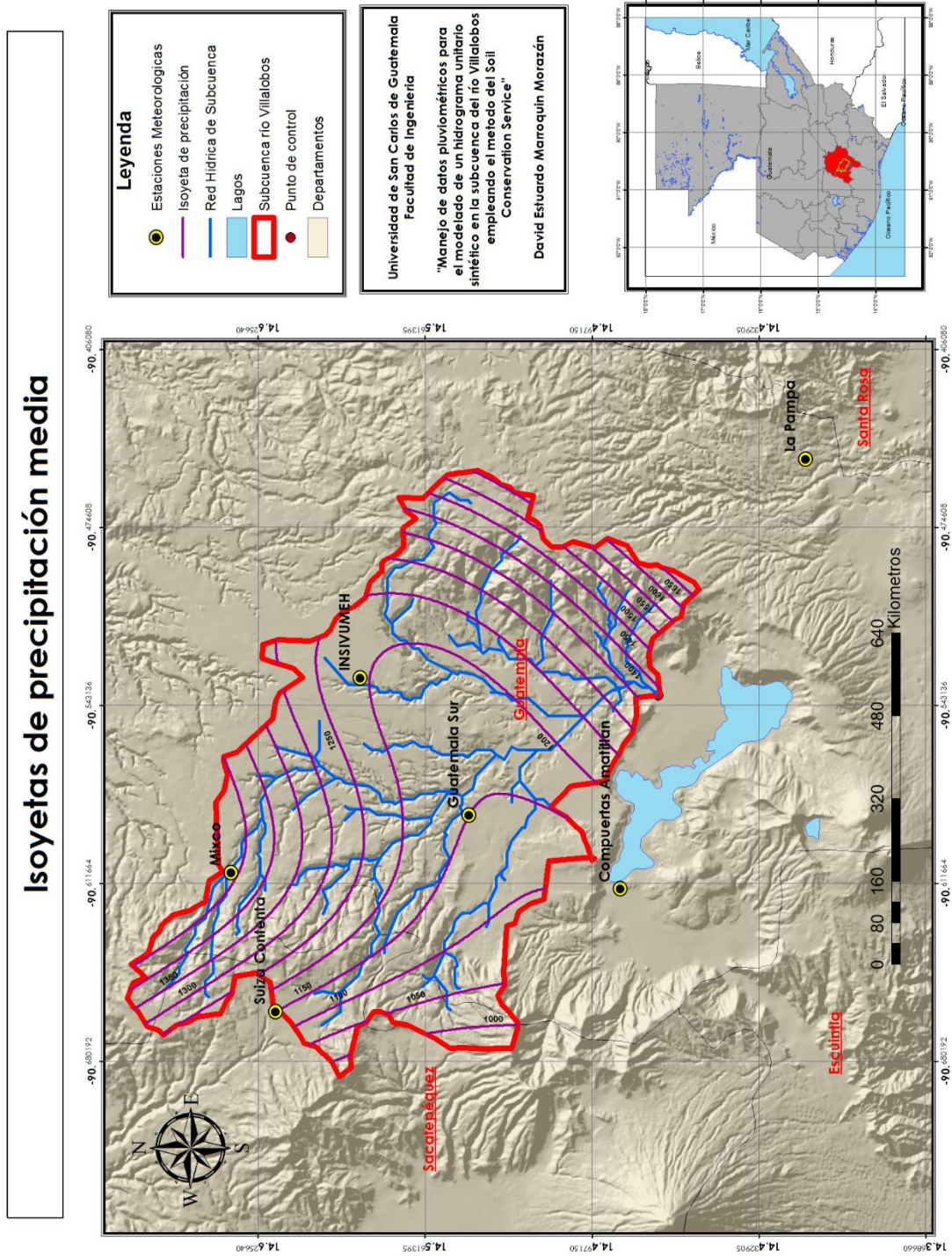
A_T = Área total de la cuenca.

P_i = Altura de precipitación de las isoyetas i .

A_i = Área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i .

n = Número de áreas parciales.

Figura 21. Isoyetas medias anuales de subcuenca del río Villalobos



Fuente: elaboración propia, empleando ArcGIS.

5. TRANSFORMACIÓN LLUVIA-ESCORRENTÍA

5.1. Modelación de llluvias

La modelación de llluvias consiste en establecer una distribución de la precipitación, tanto en el espacio regional de una cuenca como en la dimensión temporal. Para clasificar una llluvia, se la relaciona con la probabilidad de que esta ocurra en una región, solo que es en cierta medida equivalente, sea relaciona con un periodo de retorno. Otro caso es el de establecer la distribución de una llluvia real de la que se tienen unos pocos registros dentro del área a investigar, los correspondientes a las estaciones de observación, y con una distribución temporal que puede variar desde intervalos de tiempos pequeños hasta un único registro por día.

5.2. Llluvia efectiva

La llluvia efectiva se refiere a la llluvia que genera escorrentía directa, es aquella que no se infiltra en el suelo y fluye únicamente superficialmente. La escorrentía directa es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de gravedad. Corresponde a la precipitación que no queda tampoco detenida en las depresiones del suelo, y que escapa a los fenómenos de evapotranspiración. El proceso que describe el agua cuando se inicia un aguacero depende de las características del terreno: La primera llluvia caída se invierte en llenar la capacidad de retención de la parte aérea de las plantas y en saturar el suelo.

Cuando la capacidad de infiltración es inferior a la intensidad de la lluvia, el agua comenzará a moverse por la superficie del terreno. Se forma entonces, una capa delgada de agua. Esta se mueve por acción de la gravedad según la pendiente del terreno y es frenada por las irregularidades del suelo y por la presencia de vegetación hasta incorporarse a la red de drenaje, donde se junta con los otros componentes que constituyen la escorrentía total.

5.3. Infiltración

La infiltración es parte del ciclo hidrológico, el cual es el proceso en donde el agua que se encuentra en superficie y entra en el suelo. La tasa de infiltración es una medida a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature.

La infiltración está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción de capilaridad además de contra la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo.

Cabe mencionar que el proceso de infiltración es distinto al proceso de percolación del agua, ya que el primero es en el instante donde una partícula de agua penetra la superficie y el segundo término de percolación es el mover del agua dentro de la superficie. En el control de la tasa y capacidad de infiltración desempeñan un papel la textura y estructura del suelo, los tipos de vegetación, el contenido de agua en el suelo y la intensidad de la precipitación. Como ejemplo de esto se puede mencionar los suelos arenosos de partículas gruesas que tienen espacios grandes entre cada partícula y permiten que el agua se infiltre fácilmente.

La vegetación crea más suelos porosos, protegiendo el suelo del estancamiento de la precipitación, que puede cerrar los espacios naturales entre las partículas del suelo, y soltando el suelo a través de la acción de las raíces. A esto se debe que las áreas boscosas tengan las tasas de infiltración más alta que todos los tipos de vegetación.

5.3.1. Método del número de curva de USDA SCS

Este modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, usa el número de curva (CN, de sus siglas en inglés), el cual es un parámetro empírico estimado de la combinación del tipo del suelo, cobertura vegetal y la condición de humedad antecedente del suelo (AMC, de sus siglas en inglés).

Este método es utilizado para estimar la precipitación neta o precipitación en exceso (P_e), a partir de datos de precipitación (P) y otros parámetros de la cuenca de drenaje que se traducen en el número de curva (CN). El método fue desarrollado utilizando datos de un gran número de cuencas experimentales, y se basa en la siguiente relación:

$$P_e = \frac{(CN(P + 50,8) - 5\,080)^2}{CN(CN(P - 203,2) + 20\,320)}$$

Donde:

P_e = Precipitación en exceso en mm.

P = Precipitación de la tormenta, en mm.

CN = número de curva cuyos valores se muestran en la tabla no. XVII y XVIII.

Los autores del método, para obtener la expresión matemática de precipitación en exceso se basaron en datos experimentales tomando como relación las pérdidas o sustracciones iniciales (I_a) e infiltración potencial (S) el cual es:

$$I_a = 0,2 * S$$

Donde:

I_a = Pérdidas o sustracciones iniciales en mm, es definido como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y es una función de la intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía.

S = Infiltración potencial máxima, en mm.

El SCS después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas estableció una relación para estimar S a partir del número de curva CN, mediante la siguiente expresión matemática.

$$S = \frac{25\ 400}{CN} - 254$$

Tabla XVII. **Número de curva en función del uso del suelo y grupo hidrológico, para AMC II**

Descripción del uso de la tierra		Valores de CN			
		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones optimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	Condiciones optimas	30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta cobre, sin hiervas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
Condiciones óptimas: cubierta de pasto en el 75 % o mas		39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocio (85 % impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)		81	88	91	93
Zonas residenciales					
Tamaño medio del terreno (m ²)	% promedio impermeable				
500	65	77	85	90	92
1 000	38	61	75	83	87
1 350	30	57	72	81	86
2 000	25	54	70	80	85
4 000	20	51	68	79	84
Parqueos pavimentados, techos, superficies impermeables en general		98	98	98	98
Calles y Carreteras					
Pavimentadas con cuneta y alcantarillados		98	98	98	98
De grava		76	85	89	91
De tierra		72	82	87	89

Fuente: BEJAR, Maximon Villon. *Ejemplo de HEC-HMS.*

Tabla XVIII. Número de curva CN

Uso de la tierra.	Cobertura Tratamiento o practicas	Condición hidrológica	Valores de CN			
			A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivo	Surcos rectos	---	77	86	91	94
Cultivo	Surcos rectos	Pobre	72	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	62	71	78	81
Pequeños granos	Surcos rectos	Pobre	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	59	70	78	81
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastizales o similares		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
Pradera	Curvas de nivel	Pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	Buena	6	35	70	79
Bosques		Buena	30	58	71	78
		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
Pacios		Buena	25	55	70	77
		---	59	74	82	86
Caminos, incluyendo derecho de vía	Cieno	---	72	82	87	89
	Superficie firme	---	74	84	90	92

Fuente: BEJAR, Maximo Villon. *Ejemplo de HEC-HMS.*

Para estandarizar estas curvas, se define un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua CN =100; para superficies naturales CN < 100. Se conoce CN, de las ecuaciones de sustracciones iniciales y la infiltración potencial máxima, I_a se puede calcular como:

$$I_a = 0,2 * \left(\frac{2\ 540}{CN} - 254 \right)$$

$$I_a = \frac{5\ 080}{CN} - 50,8$$

Donde:

CN = Número de curva.

I_a = Abstracciones iniciales o pérdidas iniciales.

Las tablas XVII y XVIII permiten determinar el número de curva CN, para diferentes prácticas agrícolas y grupos hidrológicos en suelos, estas fueron elaboradas para una relación $I_a = 0,2 * S$ y para una condición de humedad antecedente promedio (AMC II).

La retención inicial I_a se atribuye principalmente a la intercepción, infiltración y almacenamiento en depresión que ocurren antes de que comience la escorrentía superficial. La intercepción y el almacenamiento de depresión varían ampliamente con el tipo de vegetación, fuerza del viento, micro geomorfología de la cuenca, etc., por lo que no pueden ser evaluados con precisión. Sin embargo, aunque una estimación grosera de I_a es extremadamente difícil. Para eliminar la dificultad de su estimación, el SCS propone la siguiente relación empírica entre la retención inicial I_a y la máxima retención posible S, determinada a partir de datos experimentales.

$$I_a = \lambda * S$$

Donde λ es el coeficiente de retención inicial. El SCS justifica esta ecuación sobre la base de numerosas medidas en cuencas de tamaño inferior a 40 468,60 metros cuadrados. El 50 % de los datos registrados se encontraron dentro de los límites 0,095 y 0,38, por lo que el SCS recomienda un valor de $\lambda = 0,2$ siempre que no dispongamos de una relación de más garantía, aunque admite que existe una desviación típica elevada en su determinación.

Para aclarar los conceptos de los parámetros, del cual depende el número de curva CN de las tablas XVII y XVIII, se indicarán algunas definiciones.

5.3.1.1. Condición hidrológica

La condición hidrológica, se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, esto se encuentra en función de la cobertura vegetal con la que cuente la cuenca o subcuenca, puede aproximarse con se muestra en la tabla no. XIX.

Tabla XIX. Condición hidrológica

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
> 75 % del área	Buena
Entre 50 % y 75 % del área	Regular
< 50 % del área	Pobre

Fuente: BEJAR, Maximo Villon. *Ejemplo de HEC-HMS*.

5.3.1.2. Grupo hidrológica del suelo

Define los grupos de suelos, los cuales pueden ser:

Grupo A, tiene bajo potencial de escorrentía.

Grupo B, tiene un moderado bajo potencial de escorrentía.

Grupo C, tiene un moderado alto potencial de escorrentía.

Grupo D, tiene un alto potencial de escorrentía.

Tabla XX. Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo de suelos	Descripción
A Infiltración entre 7,62 – 11,43 mm/hr	Son suelos que tiene altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento), aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B Infiltración entre 3,81 – 7,62 mm/hr	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas, cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de trasmisión del agua.
C Infiltración entre 1,27 – 3,81 mm/hr	Son suelos que tienen bajas tasa de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente, por suelos con estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen baja tasa de transmisión del agua.

Continuación de la tabla XX.

<p style="text-align: center;">D Infiltración entre 0 – 1,27 mm/hr</p>	<p>Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcillas o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable.</p> <p>Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.</p>
---	--

Fuente: BEJAR, Maximo Villon. *Ejemplo de HEC-HMS*.

5.3.1.3. Condición de humedad antecedente (AMC)

La condición de humedad antecedente, tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca en estudio; determinado por la lluvia total en el periodo de 5 días, anterior a la tormenta. El servicio de conservación de suelos de los estados unidos utiliza tres intervalos de condiciones de humedad, los cuales se describen a continuación:

AMC-I es el límite inferior de humedad o el límite superior de S (infiltración potencial máxima). Hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos, para permitir el arado o cultivos.

AMC-II es el promedio para el cual el SCS preparo las tablas XVII y XVIII.

AMC-III es el límite superior de humedad o el límite inferior de S. Hay máximo potencial de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

El servicio de conservación de suelos, indica que para estimar la humedad antecedente se puede tomar como base la tabla XIX, el cual considera como antecedente de lluvia el registro de los últimos cinco días de lluvia.

Tabla XXI. **Condición de humedad antecedente propuesto por el SCS**

Condición de humedad antecedente (AMC)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)	
	Estación Seca	Estación de crecimiento
I (seca)	Menor de 1,3	Menor de 3,5
II (media)	1,3 a 2,5	3,5 a 5
III (húmeda)	Más de 2,5	Más de 5

Fuente: BEJAR, Maximo Villon. *Ejemplo de HEC-HMS*.

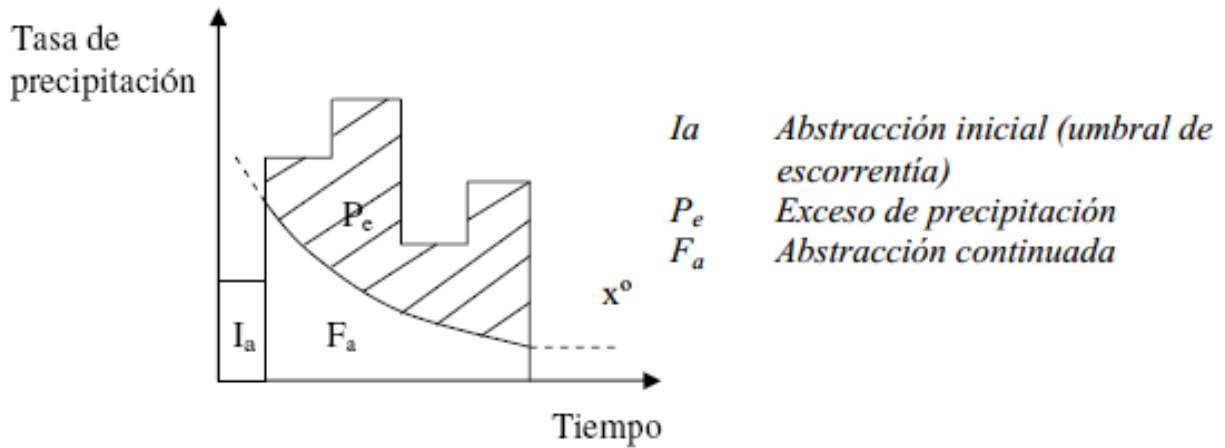
Las tablas no. XVII y XVIII permiten calcular el número de curva $CN_{(II)}$ para AMC-II, si se tiene AMC-I o AMC-III el número equivalente se calcula con las siguientes expresiones matemáticas que se muestran a continuación.

$$CN_{(I)} = \frac{4,2 CN_{(II)}}{10 - 0,058 CN_{(II)}}$$

$$CN_{(III)} = \frac{23 CN_{(II)}}{10 + 0,13 CN_{(II)}}$$

Para la tormenta con un todo, la altura de precipitación efectiva o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de forma similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Esto se muestra en la figura 18.

Figura 22. Esquema de lluvia efectiva



Fuente: APARICIO. *Fundamentos de hidrología de superficie.*

Tomando en cuenta las consideraciones necesarias para obtener las abstracciones o pérdidas iniciales, y el número de curva CN se hace necesario determinar las condiciones en las que se encuentran los suelos de la subcuenca del río Villalobos que con anterioridad fueron descritas en el capítulo dos.

Tabla XXII. **Número de curva en función del uso de suelo**

Uso de suelo al 2015		Porcentaje de área	CN
Territorios artificiales	Urbano	40,55 %	98
Bosques y Medios seminaturales	Bosques	18,70 %	60
	Vegetación tipo arbustos	20,47 %	74
	Espacios abiertos, sin o con poca vegetación	0,16 %	69
Territorios Agrícolas	Agricultura anual	8,91 %	81
	Agricultura Permanente	8,63 %	71
	Pastizales	2,58 %	69
Total		100,00 %	81,34

Fuente: elaboración propia.

El número de curva fue obtenida por medio de un promedio ponderado, dicha curva está calculada para una humedad antecedente promedio.

Tabla XXIII. **Cálculo de número de curva para subcuenca**

Uso de suelo	Área de subcuenca (Km ²) (1)	CN (2)	(1)*(2)
Urbano	126,9174	98	12 437,9052
Bosques	58,5291	60	3 511,7460
Vegetación tipo arbustos	64,0691	74	4 741,1134
Espacios abiertos, sin o con poca vegetación	0,5008	69	34,5552
Agricultura anual	27,8874	81	2 258,8794
Agricultura Permanente	27,0110	71	1 917,7810
Pastizales	8,0751	69	557,1819
TOTALES	312,99 (Km ²)		25 459,1621 (Km ²)

Fuente: elaboración propia.

$$CN_{(II)} = \frac{25\,459,1621\text{ Km}^2}{312,99\text{ Km}^2} = 81,3418$$

El número de curva obtenida indica que el 81 % de lo que precipita en la superficie se escurre, ocasionando que el caudal sea mayor ante cualquier un evento de precipitación. Con esto queda únicamente calcular las infiltraciones para las distintas condiciones de humedad y sus respectivas infiltraciones iniciales.

$$CN_{(I)} = \frac{4,2 (81,34)}{10 - 0,058 (81,34)} = 64,67$$

$$CN_{(III)} = \frac{23 (81,34)}{10 + 0,13 (81,34)} = 90,93$$

Tabla XXIV. **Número de curva en función de AMC**

Humedad antecedente (AMC)	Número de curva (CN)
AMC-I	64,67
AMC-II	81,34
AMC-III	90,93

Fuente: elaboración propia.

$$I_a = \frac{5\ 080}{CN} - 50,8 \text{ (Abstracciones iniciales)}$$

$$I_a = \frac{5\ 080}{64,67} - 50,8 = 42,1212 \text{ mm}$$

$$I_a = \frac{5\ 080}{81,34} - 50,8 = 11,6539 \text{ mm}$$

$$I_a = \frac{5\ 080}{90,93} - 50,8 = 5,0672 \text{ mm}$$

Tabla XXV. **Abstracciones o infiltraciones iniciales**

Condiciones de humedad (AMC)	Número de curva (CN)	Abstracciones iniciales (I_a)
AMC-I	64,67	42,1212
AMC-III	81,34	11,6539
AMC-III	90,93	5,0672

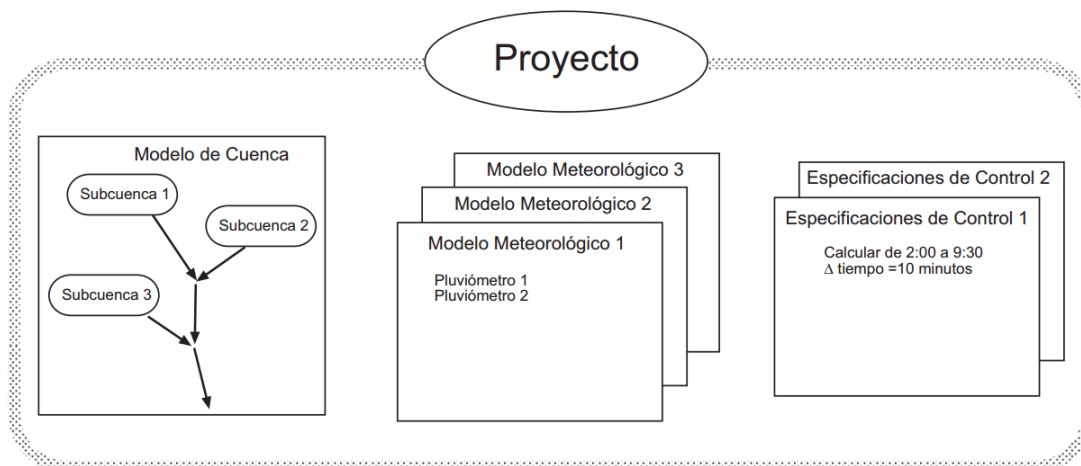
Fuente: elaboración propia.

5.4. HEC- HMS

El programa HEC-HMS es una herramienta muy útil para el modelado hidrológico, ya que este programa simula la respuesta hidrológica de una cuenca. El programa utiliza los componentes tales como el modelo de la cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada con el fin de realizar la simulación hidrológica incluyendo una serie de variables.

Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de una cuenca, dada la entrada de un modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. Los componentes de datos de entrada como lo son las series temporales, tablas y datos por celda son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como el meteorológico. A continuación, se muestra un esquema representativo de lo que es un proyecto en HEC-HMS.

Figura 23. **Esquema de representativo de proyecto en HEC-HMS**



Fuente: SANCHEZ, F. Javier, *HEC-HMS Manual elemental*.

5.4.1. Componentes del modelo de la cuenca

El modelo de la cuenca representa la cuenca física. El operador o usuario desarrolla el modelo de la cuenca incluyendo y conectando los elementos hidrológicos que influyan en la simulación. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en la cuenca.

Entre los elementos hidrológicos del modelo, podemos encontrar subcuencas, reservorios, uniones, fuentes, sumidero, depósitos y derivaciones. Para el modelo de cálculos de subcuencas existen varios tipos, las cuales son pérdidas, transformación lluvia-caudal y flujo base; cada uno de ellos con sus distintos métodos de aplicación.

5.4.2. Componentes del modelo meteorológico

El modelo meteorológico calcula la entrada de precipitación que requiere un elemento de subcuenca. El modelo puede usar precipitación puntual y puede modelar precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración. Los métodos de evapotranspiración incluyen el método de constante mensual.

Dentro de los modelos de precipitación en HEC-HMS existen las tormentas asociadas a frecuencias, pluviómetros con peso, pluviómetro con celdas, tormenta del SCS, Hietograma especificado y tormenta de proyecto estándar.

5.4.3. Componentes de las especificaciones de control

Las especificaciones de control se refieren al tiempo de duración de la simulación, incluyendo también fechas y horas de inicio y fin del proyecto.

5.4.4. Componentes de la entrada de datos

Los datos de entrada en el modelo son series temporales, pares de datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno en los modelos de la cuenca y meteorológicos.

Para las series temporales de datos tenemos los pluviómetros, medidores de caudal, limnímetros, termómetros entre otros; también en datos de celdas existen variables como la precipitación, temperatura, radiación solar, numero de curva CN SCS y contenido de agua.

6. MODELADO Y GENERACIÓN DE HIDROGRAMAS

6.1. Hidrograma unitario

Es una curva básica de respuesta a una unidad de precipitación que describe la forma en que una cuenca devuelve un *input* de lluvia distribuido en el tiempo. Se basa en el principio de que dicha relación entrada-salida es lineal, es decir, que pueden sumarse linealmente. Dicho hidrograma se obtiene a partir de un hidrograma en S que a su vez viene del desglose de varias tormentas y sus hidrogramas reales registrados.

6.1.1. Método del hidrograma unitario

El método del hidrograma unitario es uno de los métodos utilizados en hidrología, para determinar el caudal que es producido por una lluvia en una determinada cuenca hidrográfica.

Si fuera posible que se produjeran dos lluvias idénticas sobre una cuenca hidrográfica cuyas condiciones antes de la precipitación también fueran idénticas, sería de esperar que los hidrogramas correspondientes a las dos lluvias también fueran iguales. Esta es la base del concepto del hidrograma unitario. En la realidad es muy complejo que se lleven a cabo lluvias idénticas, estas pueden variar según sea su duración, el volumen de precipitación, su distribución en el espacio, así como su intensidad.

Un hidrograma unitario es una función $Q=f(t)$, resultante de un escurrimiento correspondiente a un volumen unitario (1 mm de lluvia por la cuenca) el cual proviene de una lluvia con determinada duración y determinadas características de distribución sobre la superficie. Se admite que los hidrogramas de otras lluvias, de duración de distribución semejante, presentaran el mismo tiempo de base, y con ordenadas de caudales proporcionales al volumen de flujo.

Se puede construir un hidrograma unitario a partir de los datos de precipitación y de caudales referentes a una lluvia de intensidad razonablemente uniforme y si implicaciones resultantes de lluvias anteriores o posteriores. El primer paso es separar el escurrimiento subterráneo del escurrimiento superficial directo. Se calcula el volumen de flujo y se determina las ordenadas del hidrograma unitario dividiendo las ordenadas del hidrograma directo, por la altura de escurrimiento distribuido sobre la cuenca.

6.2. Hidrograma sintético

El hidrograma sintético es un hidrograma unitario que es calculado con base a fórmulas que incluyen parámetros biofísicos de la cuenca en estudio como el área, longitud del cauce principal, pendiente promedio entre otros. Estos hidrogramas sintéticos son simulados y su finalidad es representar o simular un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico o caudal máximo. Cuando no se tienen datos de caudal, el hidrograma unitario se obtiene a partir de determinadas características de la cuenca.

6.3. Hidrograma de Snyder

El hidrograma propuesto por *Snyder* introduce el concepto del hidrograma sintético a partir de análisis de un gran número de cuencas en la región de los Apalaches, y obtuvo la siguiente expresión matemática para el tiempo de desfase T_l de una cuenca:

$$T_l = C_t * (L * L_c)^{0,3}$$

Donde:

T_l = Tiempo de desfase (h). Este tiempo es comprendido entre el centro de gravedad del hidrograma de lluvia efectiva unitaria y el instante en que se produce el pico del hidrograma.

L = Longitud del cauce principal (Km) desde el punto de salida hasta el parteaguas.

L_c = Longitud del cauce principal (Km) desde el punto de salida hasta el punto más cercano al centro de gravedad de la cuenca.

C_t = Coeficiente regional que depende de la pendiente de la cuenca.

En la bibliografía de Jesús Mateo Lázaro muestra la ecuación del coeficiente regional como:

$$C_t = \frac{0.6}{S^2} \quad S = \text{Pendiente}$$

Los valores habituales que toma este coeficiente oscilan entre 1,35 y 1,65. La evaluación del caudal pico del hidrograma de *Snyder* viene dado por:

$$Q_p = \frac{2,78C_p A}{T_l}$$

Donde:

Q_p = Caudal punta en m^3/s correspondiente a 1 mm de lluvia efectiva.

A = Área de la cuenca en Km^2

T_l = Tiempo de respuesta a desfase en horas.

C_p = Coeficiente empírico regional que oscila entre 0,56 y 0,69.

La duración del hietograma unitario, T_y , lineal respecto al tiempo de desfase T_l .

$$T_y = \frac{2}{11}T_l$$

Por lo tanto, tenemos que tiempo pico en función del tiempo de desfase:

$$T_p = \frac{1}{2}T_y + T_l = \frac{12}{11}T_l$$

En el ámbito de pronóstico de avenidas, la duración real de la tormenta (T_y) suele ser superior a la estimada, por lo que *Snyder* introdujo una fórmula para incrementar el tiempo de respuesta con el objeto de contabilizar el incremento de duración de la lluvia:

$$T_{ly} = T_l + \frac{T_Y - T_y}{4}$$

Donde:

T_{ly} = Tiempo de respuesta ajustado a la duración de tormenta T_y .

En la determinación del tiempo de base se incluye el flujo subsuperficial lateral como parte de la escorrentía directa. El efecto de esta consideración es que el tiempo de base es mayor que el correspondiente a la escorrentía superficial directa únicamente. La fórmula de *Snyder* para el tiempo de base, T_b , es:

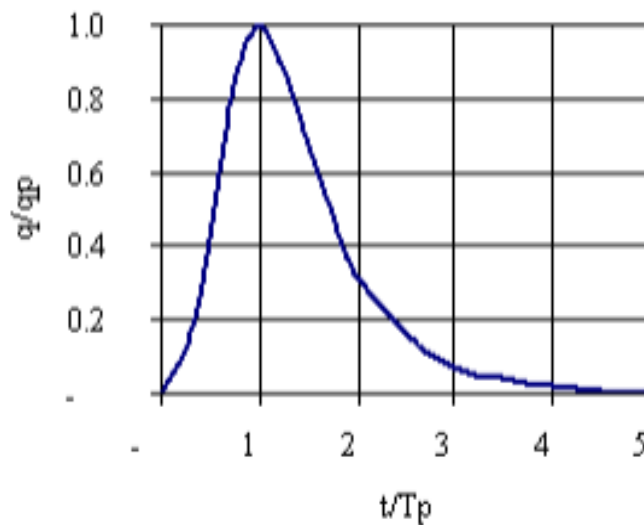
$$T_b = 72 + 3T_l$$

6.4. Hidrograma adimensional del SCS

El hidrograma adimensional del *Soil Conservation Service* (SCS) es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal se expresa por la relación del caudal “q” con respecto al caudal pico Q_p y el tiempo por la relación del tiempo “t” con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario, T_p .

El hidrograma unitario adimensional puede calcularse para cada cuenca en estudio o puede emplearse el propuesto por el SCS, que se muestra en la figura 19, y que ha sido preparado utilizando los hidrogramas unitarios de gran variedad de cuencas.

Figura 24. **Hidrograma adimensional SCS**



Fuente: LAZARO, Jesus Mateo. *Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas*. p.

56.

Tabla XXVI. **Valores para hidrograma adimensional**

t/T_p	q/q_p
0,35	0,20
0,72	0,80
0,82	0,90
0,86	0,95
1,00	1,00
1,14	0,95
1,18	0,92
1,35	0,80
1,83	0,40
2,00	0,31
2,36	0,20
3,00	0,07
4,00	0,02
5,00	0,01

Fuente: elaboración propia.

Los valores de q/q_p y t/T_p pueden estimarse empleando el modelo simplificado del hidrograma unitario triangular.

6.5. Hidrograma sintético triangular del SCS

El hidrograma sintético triangular del SCS se ha llevado a cabo con base en la revisión de un gran número de hidrogramas unitarios, el SCS propone este donde el tiempo está dado en horas y el caudal en m^3/s .

El volumen generado por la separación de la lluvia en neta y pérdidas es transitado a través del cauce mediante el uso del hidrograma unitario.

El tiempo de recesión, t_r , puede aproximarse a:

$$t_r = 1,67T_p$$

Como el área bajo el hidrograma unitario debe ser igual a una escorrentía de 1 cm:

$$q_p = \frac{2,08 * A}{T_p}$$

Donde:

A = área de drenaje en Km^2

T_p = Tiempo de ocurrencia del pico (horas).

Adicionalmente, un estudio de muchas cuencas ha demostrado que:

$$T_p = 0,6T_c$$

Donde:

T_p = Tiempo de retardo o *Log Time*, entre el centroide del hietograma y el pico del caudal (horas).

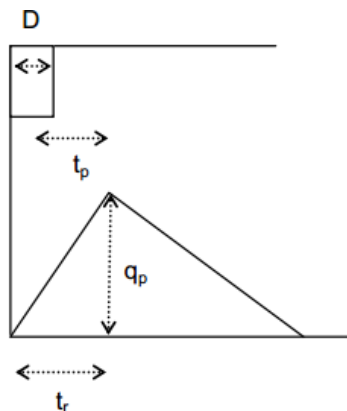
T_c = Tiempo de concentración de la cuenca.

El tiempo de ocurrencia del pico, t_p puede expresarse como:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p$$

Donde “D” es la duración de la lluvia en horas.

Figura 25. **Hidrograma unitario triangular del SCS**



Fuente: LAZARO, Jesus Mateo. Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas. p.

Comúnmente, el tiempo de concentración se calcula con la expresión matemática de Kirpich.

$$T_c = 0,066 * \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración en horas.

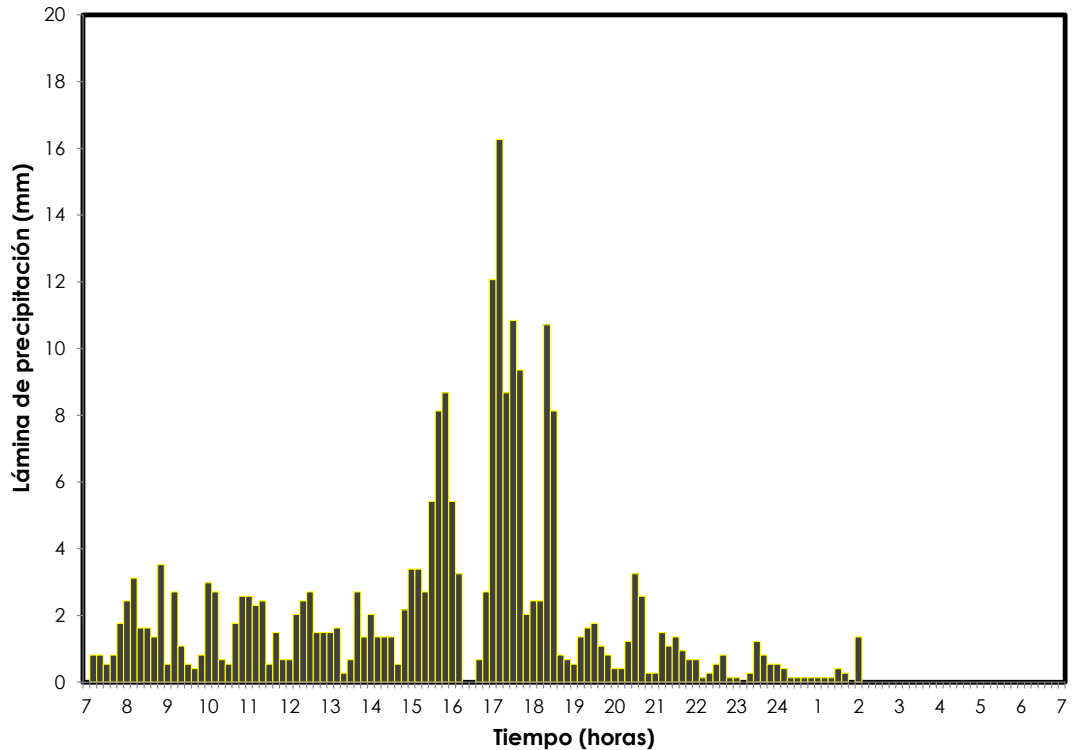
L = longitud del cauce principal en Km.

S = Pendiente media del cauce principal en porcentaje.

6.6. Hietograma de diseño

Para la elaboración del modelo matemático del hidrograma unitario se hace necesario tener una lluvia de diseño asociada a un periodo de retorno, Asimismo es importante tener un hietograma de diseño para realizar distribuciones de la lluvia con base a un registro de una lluvia dado, ya que este será el punto de partida. Para el modelado se ha considerado el hietograma observado durante la tormenta tropical Agatha de la estación meteorológica el Insivumeh, en donde se registró una cantidad de lluvia de 232,50 mm, evento máximo registrado en el periodo (1983 – 2016).

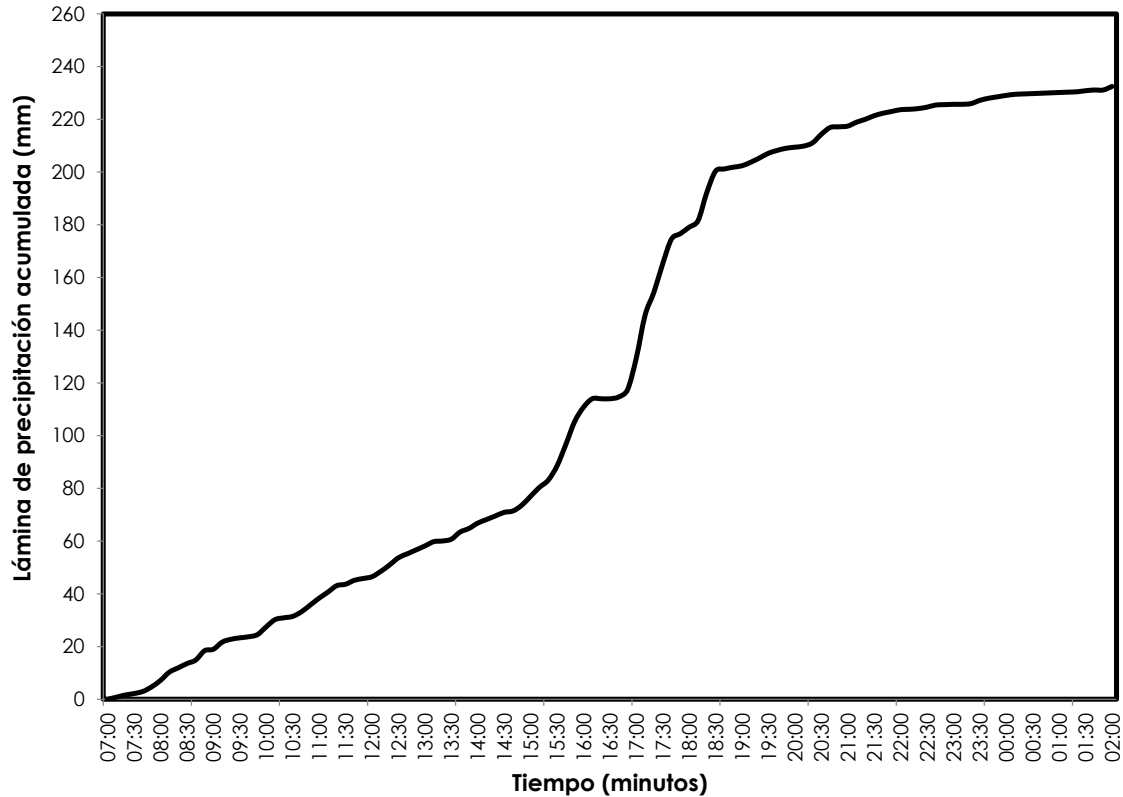
Tabla XXVII. Hietograma de diseño



Fuente: FUENTES MONTEPEQUE, Juan Carlos. *Impacto hidrológico asociado al proceso de urbanización*. p. 103.

Para dicho evento se registraron intensidades promedio de 12,24 mm/h y una intensidad máxima de 97,61 mm/h.; el cual ocasiono que, debido a la gran intensidad, la superficie del terreno no fuese capaz de absorber la cantidad de lluvia precipitada y por ende se generase una mayor escorrentía. Cabe mencionar que se escogió este evento de precipitación, ya que la modalidad de trabajo del modelo se basa en eventos extremos. Para mostrar de mejor manera el comportamiento que se tuvo de la lluvia, se muestra a continuación la curva de masa.

Figura 26. Curva de masa del hietograma de diseño



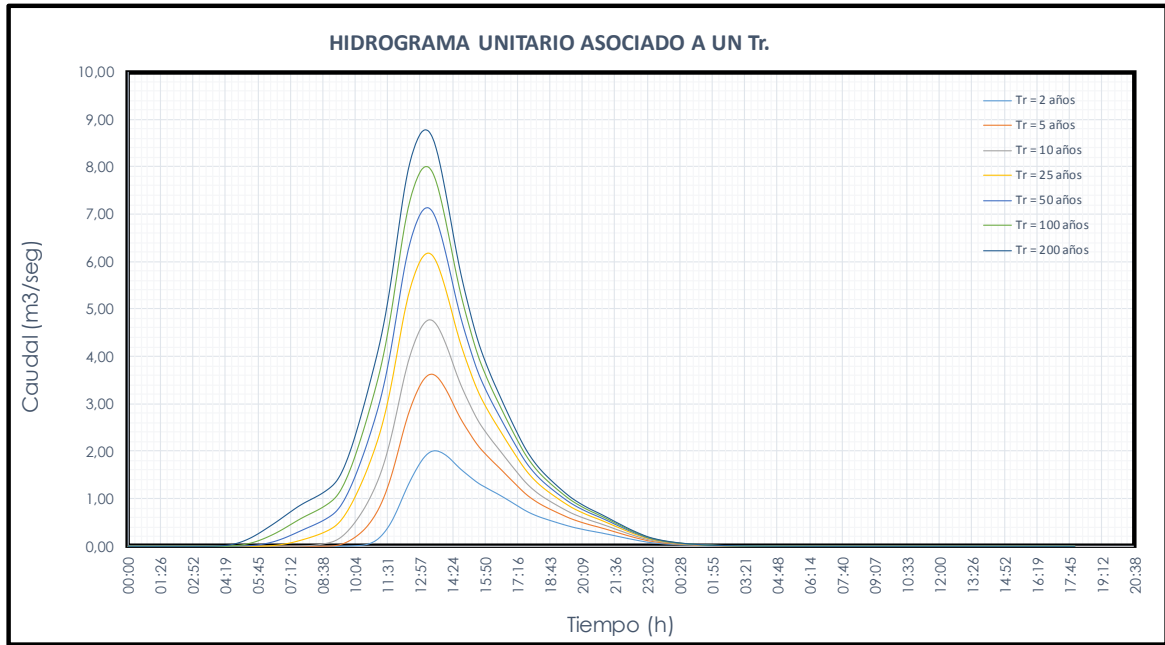
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Teniendo esta información se procede a calcular los hidrogramas unitarios por medio del *software HEC- HMS* de cuerpo de la armada de Estados Unidos.

El programa nos solicita la información del área de la cuenca, número de curva, tiempo de retardo y las lluvias de diseño. Con esto se calculó los hidrogramas conforme a las diferentes condiciones de humedad.

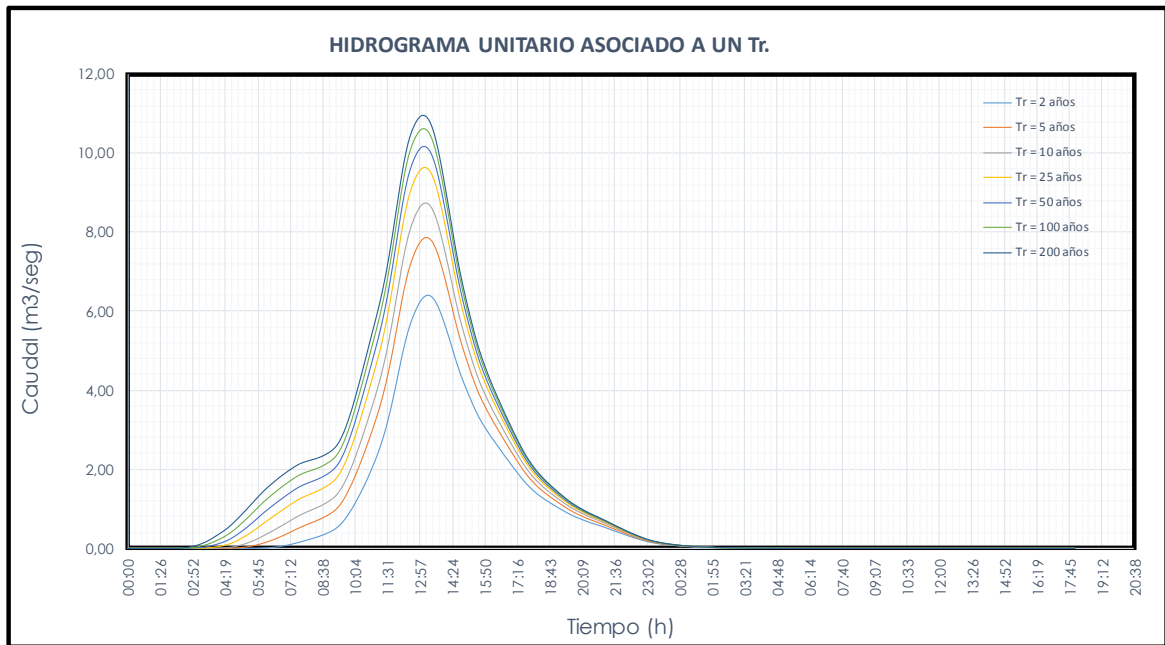
A continuación, se muestran los hidrogramas para sus respectivas humedades antecedentes.

Figura 27. Hidrograma unitario asociado a un Tr y AMC I



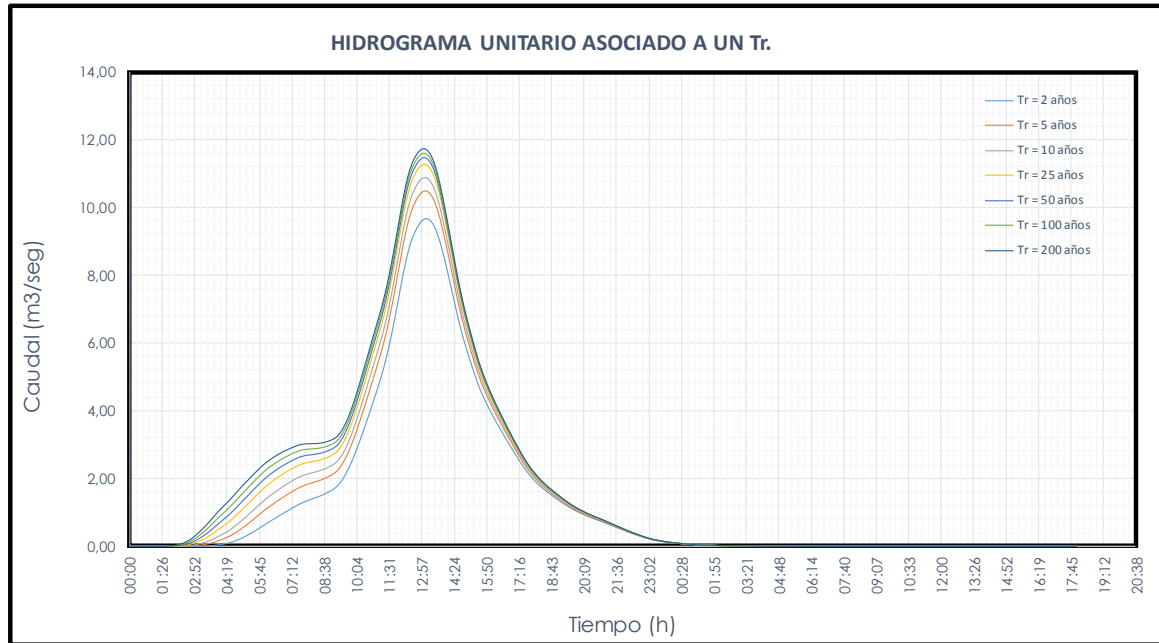
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Hidrograma unitario asociado a un Tr y AMC II



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Hidrograma unitario asociado a un Tr y AMC III



Fuente: elaboración propia.

En la sección de los anexos de encuentran los valores correspondientes a cada hidrograma, ya que los mismo pueden ser utilizados para generar otros hidrogramas a partir de datos de precipitación.

Cabe mencionar que los hidrogramas generados se vuelven obsoletos con el transcurrir del tiempo, ya que la información con la que se elaboraron dichos hidrogramas se actualiza constantemente, variando completamente lo valores mostrados.

CONCLUSIONES

1. La obtención de información de precipitación de las estaciones hidrometeorológicas de instituciones gubernamentales y privadas fue de vital importancia, ya que el método del modelado se enfoca en la elaboración del hidrograma unitario sintético con base a datos de precipitación, debido a esto sin la información pertinente no se hubiese podido completar dicho trabajo de graduación.
2. Se determinó que el área de estudio de la subcuenca del río Villalobos cuenta con una extensión territorial de 312,99 Km² comprendido en el mismo, se observó que el 40,55 % de este territorio está siendo utilizado por urbanización que se encuentra en un incremento constante. Dicha cuenca se encuentra clasificada con un orden 4 debido a su gran red de drenaje que posee. La subcuenca del río Villalobos consta de una pendiente promedio del 19,18 % clasificándose como una cuenca de respuesta rápida.
3. Se analizó de manera estadística la variabilidad y tendencia de la lluvia que se ha registrado en la subcuenca del río Villalobos, en donde nos evidencio la tendencia positiva que ha existido en la lluvia anual con el transcurrir del tiempo en el territorio guatemalteco. Asimismo, se determinó cómo ha afectado el proceso de la alteración de la superficie de la cuenca, en la variabilidad de las lluvias, ya sea por causa natural o humana, en donde nos indicó que las series de datos en la mayoría de estaciones han sido de carácter estacionarias.

4. Se determinó, por medio de las pruebas correspondientes que las estaciones Guatemala Sur e Insivumeh presentan una variación considerable en los valores estimados y teóricos, dando como resultado que la serie de datos correspondientes a cada estación sea no homogénea. Esto es debido a que en el área de influencia de estas estaciones se ha visto alterada a causa de la intervención humana.

5. Para la realización de las lluvias de diseño se utilizó el programa de HIDROESTA en donde se solicitó la información de lluvia y sus respectivos periodos de retorno en donde para la selección del mejor ajuste para la lluvia de diseño se emplearon distintos parámetros de distribución estadísticas, entre ellos está la distribución de Log Normal, Gamma, Log Pearson, Gumbel y Fréchet. Dichas distribuciones se utilizaron en cada una de las series de datos de cada estación, en donde se mostró que la distribución de Fréchet se ajustaba de mejor manera a la serie de datos y por ende menor error cuadrático.

RECOMENDACIONES

1. Equipar las estaciones hidrometeorológicas con instrumentos de medición continua, para el mejor control de las variables hidrometeorológicas en el territorio guatemalteco.
2. Realizar estudios hidrológicos donde se determine el caudal sólido, ya que este ocasiona una variación en la sección de los cauces principales.
3. Tener un mayor control sobre el uso de suelo y ordenamiento territorial en las cuencas del territorio, ya que esto ocasiona una alteración del tránsito del flujo del recurso hídrico.
4. Aplicar métodos estadísticos y determinísticos para la realización de nuevos estudios hidrológicos en las cuencas.
5. Aplicar estos tipos de estudios para la creación de sistemas de alerta temprana en lugares donde sean vulnerables a crecidas de ríos.
6. Realizar estudios donde se determine las tendencias y variabilidad de la lluvia, para conocer si esta variable está aumentando o disminuyendo en las distintas regiones del territorio guatemalteco.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANAYA FERNANDEZ, Oscar Gonzalo. *Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica chinchao, distrito de chinchao, provincia huanuco, región huanuco*. Universidad nacional agraria de la selva. Tingo Maria, Peru. [en línea]. <<http://www.unas.edu.pe/CARACTERIZACION%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO,%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO,%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO.pdf>> [Consulta: julio de 2016].
2. APARICIO, Francisco. *Fundamentos de la hidrología de superficie*. México D.F.: Limusa, 1992. 303 p.
3. CONRED. *Guía didáctica para el uso del rotafolio "Manejo de desastres de origen natural o provocado"*, Guatemala, 2004. 52 p.
4. Ingeniería Civil. *Hidrogramas*. [en línea]. <<http://clima.dicym.uson.mx/paglabhidra/ARCHIVOS/DENNIS/Tipos%20de%20hidrogramas.pdf>>. [Consulta: julio de 2016].
5. SANCHEZ, F. Javier. *HEC-HMS Manual elemental*. 23 p.
6. MARTINEZ, FACUNDO GANANCIAS. *Clase de Estadística Hidrológica*. Córdoba: Universidad Nacional de Cordoba, 2009. 32 p.

7. GASPAR, Fernanda J., SENISTERRA, Gabriela E. y MARLATS, Raúl M. *Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo*. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina, de Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional. [en línea]. <http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitaes/1521/gaspariagrarias39-1.pdf>. [Consulta: julio de 2016].
8. Insivumeh. *Ríos de Guatemala, Hidrología*. [en línea]. <http://www.Insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios_de_guatemala.html>. [Consulta: julio de 2016].
9. LAZARO, Jesus Mateo. *Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas*. [en línea]. <<https://zagan.unizar.es/record/5750/files/TESIS-2011-031.pdf>>. [Consulta: junio de 2016].
10. KUNDZEWICZ, Z., & ROBSON, A. *Detecting trend and other changes in hydrological data*. WCDMP, 2000. 45 p.
11. LINSLEY-KOHLER-PAULUS. *Hidrología para ingenieros*. 2ª ed., Bogotá, Colombia: Mc. Graw Hill Latinoamericana S.A., 1977. 396 p.
12. NANÍA, Leonardo S. *Manual Básico HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1*. 76 p.

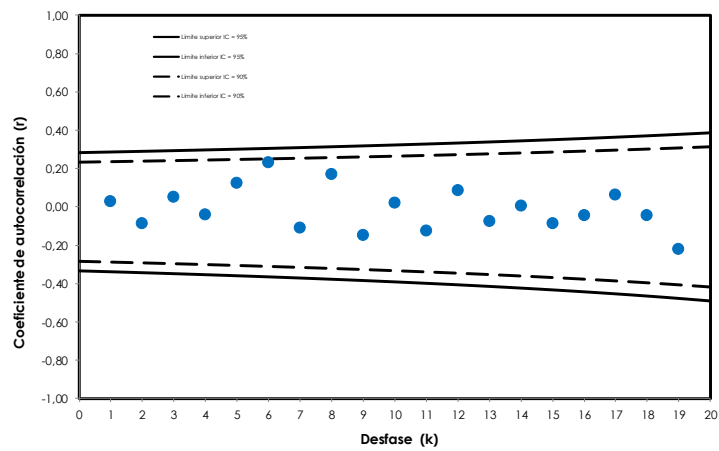
13. MARTINEZ LÓPEZ, José Florentín. *Cambio climático en Guatemala y los efectos de las tormentas tropicales en Asentamientos Humanos del Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala (AMCG) y la bocacosta del Pacífico (1998-2010). Lineamientos de ordenamiento territorial para nuevos asentamientos humanos Post-Agatha.* [en línea] <<http://digi.usac.edu.gt/bvirtual/resumenes12/inf1130.html>>. [Consulta: julio de 2016].
14. BÉJAR, Máximo Villon. *Hidrología.* Lima Perú: Villon, 2002. 430 p.
15. ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Guía de prácticas hidrológicas Volumen II Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas 6ta. Edición.* CH-1211 Ginebra 2, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011. 330 p.
16. ANLEU, Rafael. *Inventario de cuencas en Guatemala.* Secretaría Ejecutiva de CEPRADENAC, 2006. 10 p.
17. FATTORELLI, Sergio y FERNANDEZ, Pedro C. (2). *Diseño Hidrológico. 2a ed.* Zaragoza, España: Water Assessment & Advisory Global Netwok, 2011. 270 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Correlogramas de prueba de Anderson para independencia de serie de datos de estaciones de la subcuenca del río Villalobos

Compuertas Amatitlán

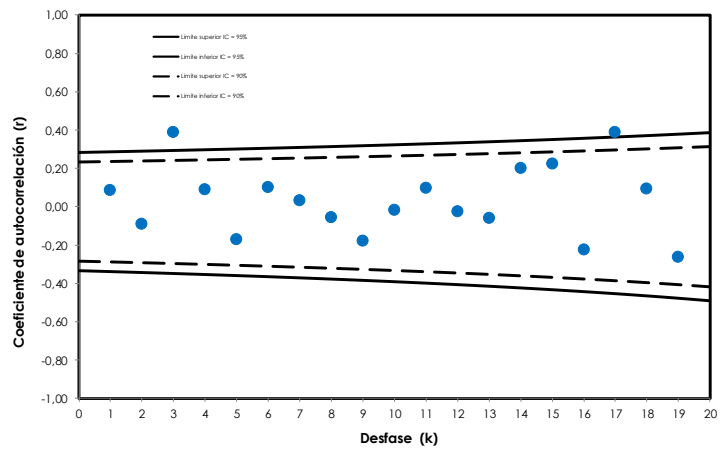
Correlograma de lluvia diaria máxima anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

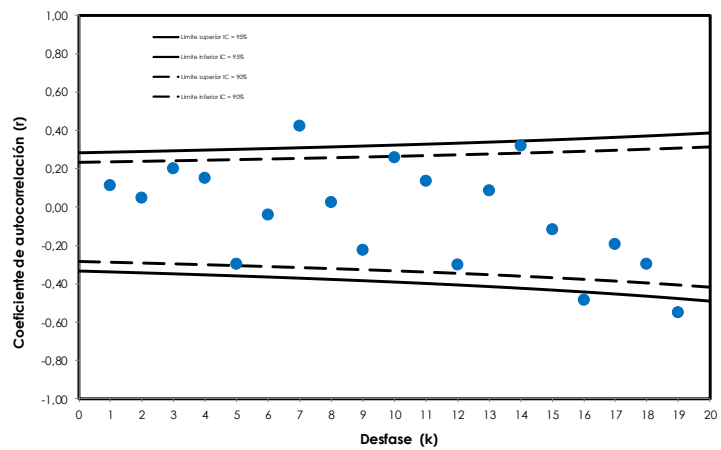
Continuación de apéndice 1.

Correlograma de lluvia anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Correlograma de días con lluvia

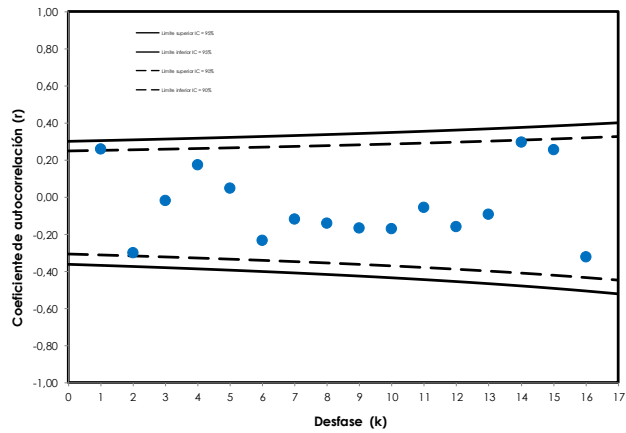


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Continuación de apéndice 1.

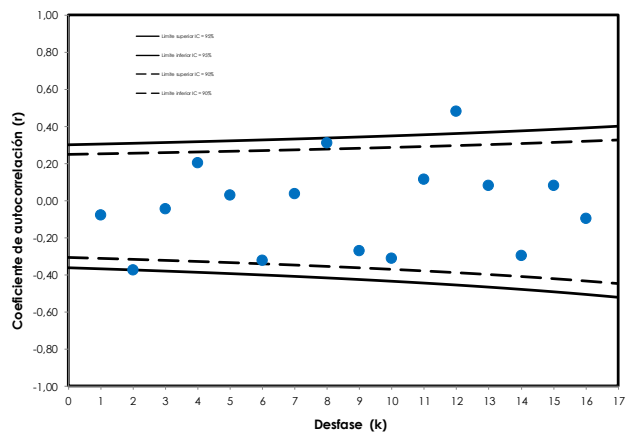
La Pampa

Correlograma de lluvia anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

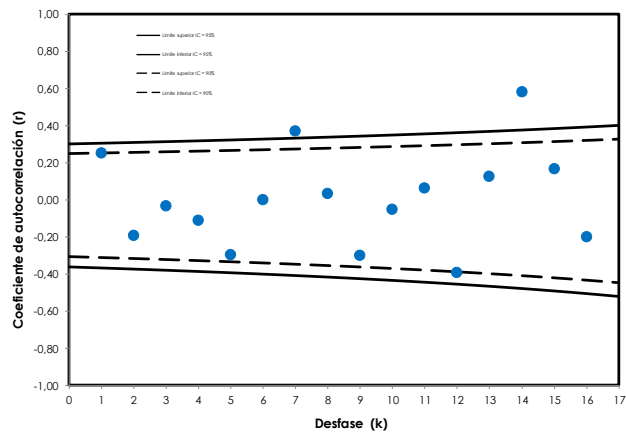
Correlograma de lluvia diaria máxima anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Continuación de apéndice 1.

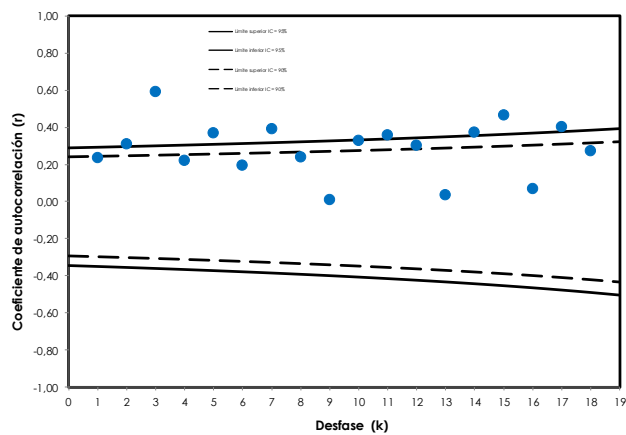
Correlograma de días con lluvia



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Guatemala Sur

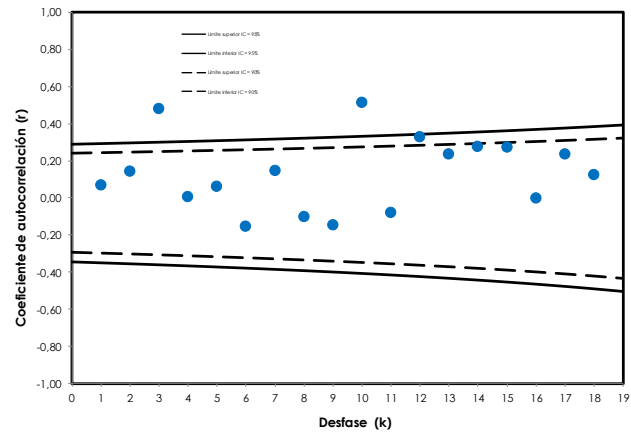
Correlograma de lluvia anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

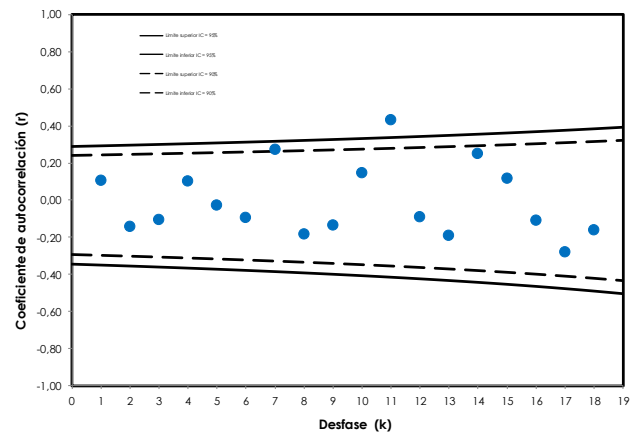
Continuación de apéndice 1.

Correlograma de lluvia diaria máxima anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Correlograma de días con lluvia

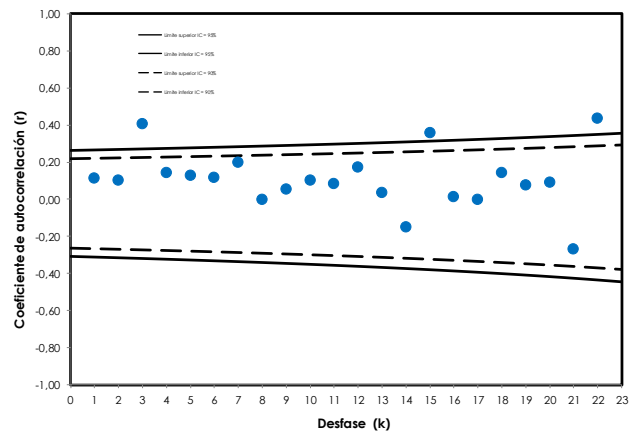


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Continuación de apéndice 1.

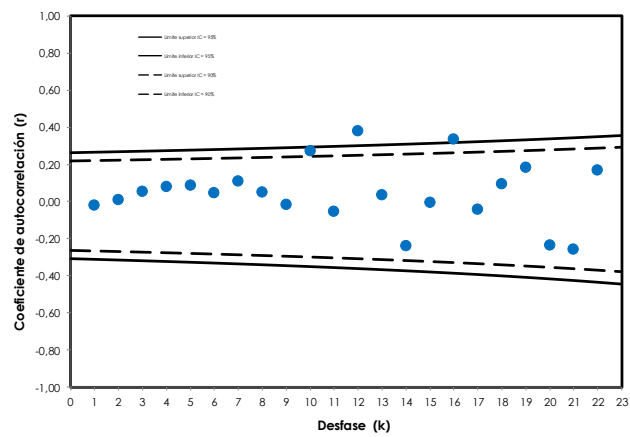
Insivumeh

Correlograma de lluvia anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

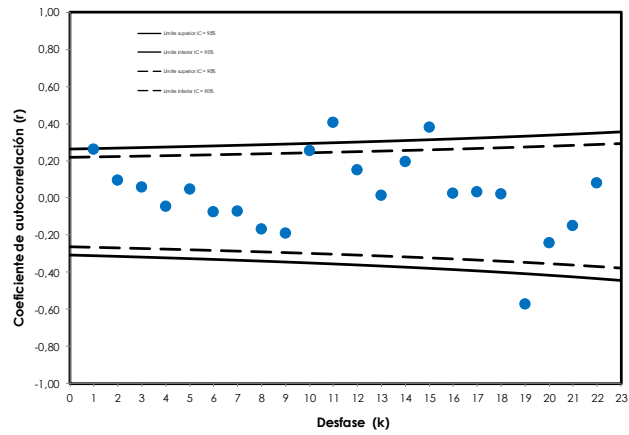
Correlograma de lluvia diaria máxima anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Continuación de apéndice 1.

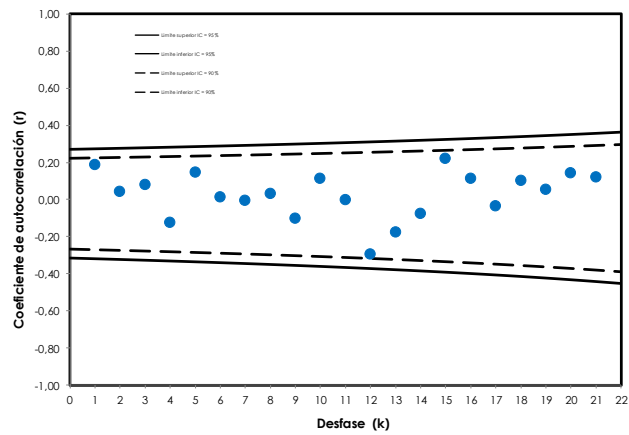
Correlograma de días con lluvia



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Suiza Contenta

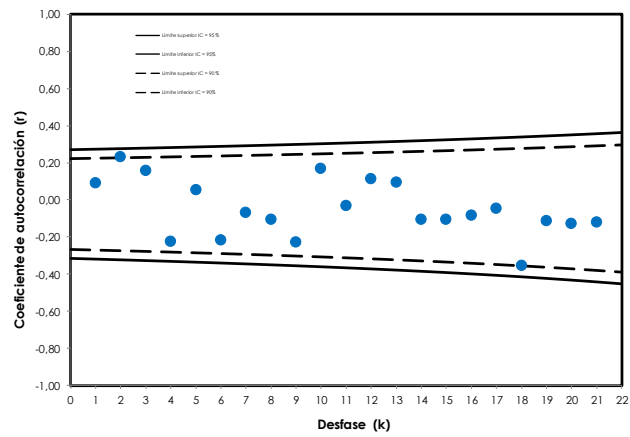
Correlograma de lluvia anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

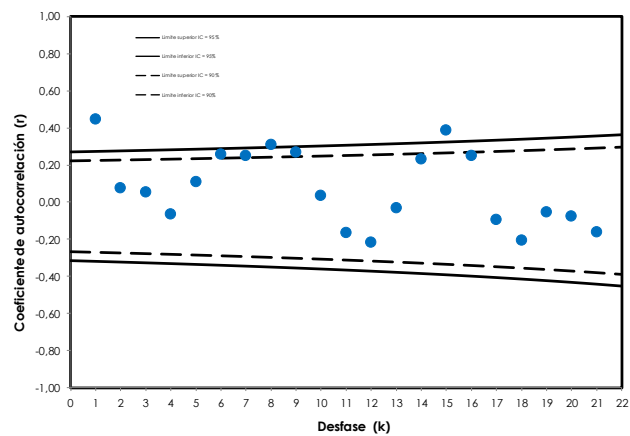
Continuación de apéndice 1.

Correlograma de lluvia diaria máxima anual



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Correlograma de días con lluvia



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 2. Datos tabulados para hidrogramas unitarios asociados a AMC y Tr.

Tabla XXVIII. Datos tabulados de hidrograma unitario para AMC I

Hora (cada 10 min.)	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años
	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
04:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
04:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
04:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
04:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04
04:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09
05:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,12
05:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,15
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,19
05:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,24
05:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,28
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,16	0,33
06:10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,19	0,38
06:20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,23	0,44
06:30	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,27	0,49
06:40	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,31	0,54

Continuación de apéndice 2.

06:50	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,35	0,60
07:00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,19	0,40	0,66
07:10	0,00	0,00	0,00	0,07	0,22	0,45	0,71
07:20	0,00	0,00	0,00	0,09	0,26	0,49	0,77
07:30	0,00	0,00	0,00	0,11	0,29	0,54	0,82
07:40	0,00	0,00	0,01	0,13	0,33	0,59	0,87
07:50	0,00	0,00	0,01	0,15	0,36	0,63	0,92
08:00	0,00	0,00	0,01	0,17	0,40	0,67	0,96
08:10	0,00	0,00	0,02	0,20	0,43	0,71	1,00
08:20	0,00	0,00	0,03	0,23	0,47	0,75	1,04
08:30	0,00	0,00	0,04	0,26	0,51	0,79	1,09
08:40	0,00	0,00	0,05	0,29	0,55	0,83	1,14
08:50	0,00	0,00	0,07	0,32	0,59	0,89	1,19
09:00	0,00	0,01	0,08	0,37	0,64	0,94	1,25
09:10	0,00	0,01	0,11	0,42	0,71	1,01	1,33
09:20	0,00	0,03	0,15	0,49	0,79	1,11	1,44
09:30	0,00	0,05	0,21	0,58	0,91	1,25	1,59
09:40	0,00	0,08	0,28	0,70	1,05	1,41	1,77
09:50	0,01	0,12	0,37	0,83	1,21	1,60	1,98
10:00	0,01	0,17	0,46	0,98	1,39	1,81	2,22
10:10	0,01	0,22	0,57	1,14	1,59	2,04	2,48
10:20	0,02	0,29	0,69	1,31	1,80	2,29	2,76
10:30	0,03	0,37	0,82	1,50	2,02	2,54	3,04
10:40	0,05	0,46	0,96	1,69	2,26	2,81	3,34
10:50	0,08	0,57	1,12	1,91	2,51	3,10	3,65
11:00	0,12	0,69	1,29	2,13	2,77	3,38	3,96
11:10	0,19	0,84	1,49	2,39	3,05	3,70	4,30
11:20	0,27	1,02	1,72	2,67	3,38	4,05	4,68
11:30	0,38	1,23	1,99	3,01	3,75	4,46	5,12
11:40	0,51	1,47	2,30	3,39	4,18	4,92	5,61
11:50	0,66	1,75	2,65	3,81	4,64	5,43	6,15
12:00	0,83	2,05	3,01	4,25	5,13	5,96	6,71
12:10	1,02	2,35	3,38	4,69	5,62	6,48	7,25
12:20	1,20	2,63	3,72	5,08	6,04	6,93	7,73
12:30	1,37	2,88	4,01	5,41	6,39	7,29	8,10
12:40	1,52	3,09	4,24	5,66	6,66	7,56	8,37
12:50	1,66	3,28	4,44	5,88	6,87	7,78	8,58
13:00	1,79	3,43	4,61	6,04	7,03	7,93	8,73
13:10	1,89	3,55	4,71	6,14	7,12	8,01	8,79
13:20	1,97	3,61	4,77	6,17	7,13	8,00	8,76
13:30	2,01	3,62	4,75	6,12	7,05	7,89	8,62
13:40	2,01	3,58	4,68	5,99	6,89	7,69	8,39
13:50	1,99	3,50	4,54	5,79	6,64	7,40	8,07
14:00	1,95	3,38	4,37	5,55	6,35	7,06	7,68
14:10	1,89	3,24	4,17	5,27	6,02	6,68	7,26
14:20	1,82	3,09	3,95	4,98	5,67	6,29	6,82
14:30	1,74	2,92	3,72	4,68	5,32	5,88	6,37
14:40	1,66	2,76	3,51	4,39	4,99	5,51	5,96
14:50	1,59	2,62	3,32	4,14	4,69	5,17	5,59
15:00	1,53	2,49	3,14	3,91	4,42	4,87	5,26
15:10	1,46	2,37	2,98	3,69	4,17	4,59	4,94
15:20	1,40	2,25	2,81	3,48	3,92	4,31	4,64

Continuación de apéndice 2.

15:30	1,34	2,14	2,67	3,28	3,70	4,06	4,37
15:40	1,29	2,04	2,54	3,12	3,50	3,84	4,12
15:50	1,25	1,95	2,42	2,97	3,33	3,64	3,91
16:00	1,20	1,87	2,31	2,82	3,16	3,46	3,71
16:10	1,16	1,79	2,21	2,69	3,01	3,28	3,52
16:20	1,12	1,71	2,11	2,56	2,86	3,12	3,34
16:30	1,07	1,64	2,01	2,43	2,72	2,96	3,16
16:40	1,03	1,56	1,91	2,31	2,57	2,79	2,99
16:50	0,98	1,48	1,81	2,18	2,43	2,64	2,81
17:00	0,93	1,40	1,71	2,05	2,28	2,48	2,65
17:10	0,88	1,32	1,61	1,93	2,15	2,33	2,48
17:20	0,83	1,24	1,51	1,81	2,01	2,18	2,32
17:30	0,79	1,16	1,42	1,69	1,88	2,04	2,17
17:40	0,74	1,09	1,33	1,59	1,76	1,90	2,03
17:50	0,70	1,03	1,25	1,49	1,65	1,79	1,90
18:00	0,67	0,97	1,18	1,41	1,56	1,68	1,79
18:10	0,63	0,92	1,12	1,33	1,47	1,59	1,69
18:20	0,60	0,88	1,06	1,26	1,39	1,50	1,60
18:30	0,58	0,83	1,01	1,20	1,32	1,42	1,51
18:40	0,55	0,79	0,96	1,14	1,25	1,35	1,44
18:50	0,53	0,76	0,91	1,08	1,19	1,28	1,36
19:00	0,50	0,72	0,87	1,02	1,13	1,21	1,29
19:10	0,48	0,68	0,82	0,97	1,07	1,15	1,22
19:20	0,45	0,65	0,78	0,92	1,01	1,08	1,15
19:30	0,43	0,61	0,74	0,87	0,95	1,02	1,08
19:40	0,41	0,58	0,70	0,82	0,90	0,97	1,02
19:50	0,39	0,55	0,66	0,78	0,85	0,92	0,97
20:00	0,37	0,52	0,63	0,74	0,81	0,87	0,92
20:10	0,36	0,50	0,60	0,70	0,77	0,82	0,87
20:20	0,34	0,47	0,57	0,67	0,73	0,78	0,83
20:30	0,32	0,45	0,55	0,64	0,70	0,74	0,78
20:40	0,31	0,43	0,52	0,61	0,66	0,71	0,75
20:50	0,29	0,41	0,49	0,58	0,63	0,67	0,71
21:00	0,28	0,39	0,47	0,54	0,60	0,63	0,67
21:10	0,26	0,36	0,44	0,51	0,56	0,60	0,63
21:20	0,25	0,34	0,41	0,48	0,52	0,56	0,59
21:30	0,23	0,32	0,38	0,44	0,49	0,52	0,55
21:40	0,21	0,29	0,35	0,41	0,45	0,48	0,50
21:50	0,20	0,27	0,33	0,38	0,41	0,44	0,46
22:00	0,18	0,25	0,30	0,34	0,38	0,40	0,42
22:10	0,16	0,22	0,27	0,31	0,34	0,36	0,38
22:20	0,15	0,20	0,24	0,28	0,31	0,33	0,34
22:30	0,13	0,18	0,22	0,25	0,27	0,29	0,31
22:40	0,12	0,16	0,19	0,22	0,24	0,26	0,27
22:50	0,10	0,14	0,17	0,20	0,21	0,23	0,24
23:00	0,09	0,12	0,15	0,17	0,19	0,20	0,21
23:10	0,08	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18
23:20	0,07	0,10	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16
23:30	0,06	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,14
23:40	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13
23:50	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11
00:00	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10

Continuación de apéndice 2.

00:10	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09
00:20	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
00:30	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
00:40	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
00:50	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
01:00	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05
01:10	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
01:20	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
01:30	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
01:40	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
01:50	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:10	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
02:20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
02:30	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
02:40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
02:50	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:10	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:30	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
03:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
03:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Continuación de apéndice 2.

17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	63,22	111,35	148,35	196,25	231,83	265,87	298,08
Max	2,01	3,62	4,77	6,17	7,13	8,01	8,79

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Datos tabulados de hidrograma unitario para AMC II.

Hora (cada 10 min.)	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años
	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
02:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
02:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03
02:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05
03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07
03:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,10
03:20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,14
03:30	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,10	0,18
03:40	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,13	0,23
03:50	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,18	0,29
04:00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,12	0,22	0,35
04:10	0,00	0,00	0,01	0,06	0,15	0,27	0,41
04:20	0,00	0,00	0,02	0,08	0,18	0,32	0,48
04:30	0,00	0,00	0,03	0,11	0,23	0,38	0,56
04:40	0,00	0,01	0,04	0,15	0,28	0,45	0,64
04:50	0,00	0,01	0,06	0,20	0,35	0,53	0,74
05:00	0,00	0,02	0,08	0,24	0,41	0,61	0,84
05:10	0,00	0,03	0,11	0,30	0,49	0,70	0,94

Continuación de apéndice 2.

05:20	0,00	0,04	0,14	0,36	0,56	0,79	1,04
05:30	0,00	0,06	0,18	0,42	0,64	0,89	1,14
05:40	0,00	0,08	0,22	0,49	0,73	0,98	1,24
05:50	0,00	0,11	0,27	0,56	0,81	1,08	1,35
06:00	0,01	0,13	0,32	0,63	0,90	1,17	1,44
06:10	0,01	0,16	0,37	0,70	0,97	1,25	1,53
06:20	0,02	0,20	0,42	0,77	1,05	1,33	1,62
06:30	0,03	0,23	0,47	0,83	1,12	1,41	1,70
06:40	0,04	0,27	0,52	0,90	1,19	1,49	1,77
06:50	0,06	0,31	0,58	0,97	1,26	1,56	1,85
07:00	0,07	0,36	0,64	1,03	1,33	1,63	1,92
07:10	0,09	0,40	0,69	1,09	1,40	1,70	1,98
07:20	0,12	0,45	0,75	1,16	1,47	1,76	2,05
07:30	0,14	0,49	0,80	1,22	1,53	1,82	2,11
07:40	0,17	0,54	0,85	1,27	1,58	1,87	2,15
07:50	0,19	0,58	0,90	1,31	1,62	1,91	2,19
08:00	0,22	0,62	0,94	1,35	1,66	1,95	2,22
08:10	0,25	0,66	0,98	1,39	1,70	1,98	2,24
08:20	0,28	0,70	1,02	1,43	1,73	2,01	2,27
08:30	0,31	0,74	1,06	1,48	1,78	2,05	2,31
08:40	0,35	0,78	1,11	1,53	1,82	2,10	2,35
08:50	0,38	0,83	1,17	1,58	1,88	2,15	2,40
09:00	0,43	0,89	1,23	1,65	1,95	2,22	2,46
09:10	0,48	0,96	1,31	1,73	2,03	2,30	2,54
09:20	0,56	1,06	1,41	1,85	2,15	2,43	2,67
09:30	0,66	1,19	1,56	2,01	2,33	2,61	2,85
09:40	0,78	1,35	1,74	2,22	2,54	2,83	3,09
09:50	0,92	1,53	1,95	2,46	2,80	3,10	3,36
10:00	1,07	1,74	2,19	2,72	3,08	3,40	3,67
10:10	1,24	1,97	2,45	3,02	3,39	3,73	4,01
10:20	1,43	2,21	2,72	3,32	3,72	4,07	4,37
10:30	1,62	2,46	3,01	3,64	4,06	4,42	4,73
10:40	1,83	2,72	3,30	3,97	4,41	4,78	5,10
10:50	2,05	3,00	3,61	4,30	4,76	5,15	5,47
11:00	2,28	3,28	3,92	4,64	5,11	5,51	5,84
11:10	2,54	3,59	4,26	5,00	5,48	5,89	6,23
11:20	2,84	3,94	4,64	5,41	5,90	6,32	6,66
11:30	3,18	4,35	5,07	5,87	6,38	6,81	7,16
11:40	3,57	4,80	5,56	6,39	6,92	7,36	7,72
11:50	4,00	5,30	6,10	6,97	7,51	7,96	8,33
12:00	4,46	5,83	6,66	7,56	8,11	8,58	8,95
12:10	4,91	6,34	7,20	8,12	8,69	9,17	9,54
12:20	5,31	6,79	7,67	8,62	9,19	9,67	10,05
12:30	5,64	7,15	8,04	8,99	9,57	10,04	10,42
12:40	5,90	7,42	8,31	9,26	9,83	10,30	10,67
12:50	6,11	7,63	8,53	9,46	10,03	10,49	10,85
13:00	6,28	7,79	8,67	9,60	10,15	10,60	10,95
13:10	6,37	7,87	8,73	9,64	10,17	10,61	10,95
13:20	6,40	7,86	8,70	9,58	10,10	10,52	10,85
13:30	6,34	7,76	8,57	9,42	9,92	10,32	10,63
13:40	6,21	7,56	8,34	9,15	9,62	10,00	10,30
13:50	6,00	7,28	8,02	8,78	9,22	9,58	9,86

Continuación de apéndice 2.

14:00	5,74	6,94	7,63	8,34	8,76	9,09	9,35
14:10	5,45	6,58	7,22	7,88	8,26	8,57	8,80
14:20	5,14	6,19	6,78	7,39	7,74	8,02	8,24
14:30	4,83	5,79	6,34	6,90	7,22	7,48	7,68
14:40	4,53	5,43	5,93	6,44	6,74	6,98	7,16
14:50	4,27	5,10	5,56	6,04	6,31	6,53	6,70
15:00	4,03	4,80	5,23	5,67	5,93	6,12	6,28
15:10	3,80	4,52	4,92	5,32	5,56	5,74	5,89
15:20	3,58	4,25	4,62	4,99	5,21	5,38	5,51
15:30	3,38	4,00	4,34	4,69	4,89	5,04	5,17
15:40	3,21	3,78	4,11	4,42	4,61	4,75	4,87
15:50	3,05	3,59	3,89	4,19	4,36	4,50	4,60
16:00	2,91	3,41	3,69	3,97	4,13	4,25	4,35
16:10	2,77	3,24	3,50	3,76	3,91	4,03	4,12
16:20	2,64	3,08	3,33	3,56	3,71	3,81	3,90
16:30	2,50	2,92	3,15	3,37	3,51	3,60	3,68
16:40	2,37	2,76	2,98	3,18	3,31	3,40	3,47
16:50	2,24	2,60	2,80	3,00	3,11	3,20	3,26
17:00	2,11	2,44	2,64	2,82	2,92	3,00	3,06
17:10	1,99	2,29	2,47	2,64	2,74	2,81	2,87
17:20	1,86	2,15	2,32	2,47	2,56	2,63	2,68
17:30	1,74	2,01	2,16	2,30	2,39	2,45	2,50
17:40	1,63	1,88	2,02	2,15	2,23	2,29	2,33
17:50	1,54	1,76	1,90	2,02	2,09	2,14	2,19
18:00	1,45	1,66	1,79	1,90	1,96	2,01	2,05
18:10	1,37	1,56	1,69	1,79	1,85	1,90	1,93
18:20	1,30	1,48	1,59	1,69	1,75	1,79	1,83
18:30	1,23	1,40	1,51	1,60	1,66	1,69	1,73
18:40	1,17	1,33	1,43	1,52	1,57	1,61	1,64
18:50	1,11	1,26	1,36	1,44	1,49	1,52	1,55
19:00	1,05	1,19	1,29	1,36	1,40	1,44	1,46
19:10	1,00	1,13	1,22	1,29	1,33	1,36	1,38
19:20	0,94	1,06	1,15	1,21	1,25	1,28	1,30
19:30	0,89	1,00	1,08	1,14	1,18	1,20	1,23
19:40	0,84	0,95	1,02	1,08	1,11	1,14	1,16
19:50	0,80	0,90	0,97	1,02	1,05	1,08	1,09
20:00	0,76	0,85	0,92	0,97	1,00	1,02	1,04
20:10	0,72	0,81	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98
20:20	0,69	0,77	0,83	0,87	0,90	0,92	0,93
20:30	0,65	0,73	0,79	0,83	0,85	0,87	0,88
20:40	0,62	0,69	0,75	0,79	0,81	0,83	0,84
20:50	0,59	0,66	0,71	0,75	0,77	0,78	0,80
21:00	0,56	0,62	0,67	0,71	0,73	0,74	0,75
21:10	0,53	0,58	0,63	0,66	0,68	0,69	0,71
21:20	0,49	0,54	0,59	0,62	0,64	0,65	0,66
21:30	0,46	0,50	0,55	0,57	0,59	0,60	0,61
21:40	0,42	0,47	0,51	0,53	0,55	0,55	0,56
21:50	0,39	0,43	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52
22:00	0,35	0,39	0,42	0,44	0,46	0,46	0,47
22:10	0,32	0,35	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43
22:20	0,29	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,38
22:30	0,26	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34

Continuación de apéndice 2.

22:40	0,23	0,25	0,27	0,29	0,30	0,30	0,31
22:50	0,20	0,22	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27
23:00	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,23	0,23
23:10	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,20
23:20	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18
23:30	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
23:40	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14
23:50	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13
00:00	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
00:10	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
00:20	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
00:30	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
00:40	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
00:50	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
01:00	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
01:10	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
01:20	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
01:30	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
01:40	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
01:50	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
02:00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:20	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:30	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
02:40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
02:50	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:30	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:40	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:50	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Continuación de apéndice 2.

16:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	204,65	259,90	295,92	336,29	363,17	386,79	407,67
Max	6,40	7,87	8,73	9,64	10,17	10,61	10,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. Datos tabulados de hidrograma unitario para AMC III

Hora (cada 10 min.)	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años
	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)	Q(m ³ /seg.)
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
02:10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05
02:20	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08
02:30	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,09	0,13
02:40	0,00	0,01	0,02	0,06	0,10	0,14	0,20
02:50	0,00	0,02	0,04	0,09	0,14	0,20	0,28
03:00	0,00	0,03	0,06	0,13	0,20	0,28	0,37
03:10	0,00	0,04	0,08	0,18	0,26	0,36	0,47
03:20	0,01	0,05	0,12	0,23	0,34	0,46	0,59
03:30	0,01	0,08	0,16	0,30	0,42	0,56	0,70
03:40	0,02	0,11	0,20	0,37	0,51	0,67	0,83
03:50	0,03	0,14	0,26	0,45	0,61	0,78	0,96
04:00	0,05	0,18	0,32	0,53	0,70	0,89	1,08

Continuación de apéndice 2.

04:10	0,07	0,22	0,37	0,61	0,80	0,99	1,19
04:20	0,09	0,27	0,44	0,69	0,89	1,09	1,30
04:30	0,12	0,32	0,51	0,78	0,99	1,20	1,41
04:40	0,16	0,39	0,59	0,88	1,10	1,32	1,54
04:50	0,20	0,46	0,68	0,99	1,22	1,44	1,66
05:00	0,25	0,54	0,78	1,10	1,33	1,56	1,78
05:10	0,31	0,63	0,88	1,20	1,45	1,68	1,90
05:20	0,37	0,71	0,98	1,31	1,56	1,80	2,01
05:30	0,43	0,80	1,08	1,43	1,68	1,91	2,13
05:40	0,50	0,89	1,18	1,54	1,79	2,02	2,24
05:50	0,57	0,98	1,28	1,64	1,90	2,13	2,34
06:00	0,64	1,07	1,38	1,74	2,00	2,23	2,44
06:10	0,71	1,16	1,46	1,83	2,09	2,32	2,53
06:20	0,78	1,23	1,55	1,92	2,17	2,40	2,60
06:30	0,85	1,31	1,63	2,00	2,25	2,48	2,67
06:40	0,92	1,39	1,70	2,08	2,33	2,55	2,74
06:50	0,98	1,46	1,78	2,15	2,39	2,61	2,80
07:00	1,05	1,53	1,85	2,21	2,46	2,67	2,85
07:10	1,11	1,60	1,92	2,28	2,52	2,72	2,90
07:20	1,18	1,66	1,98	2,34	2,57	2,77	2,95
07:30	1,24	1,72	2,04	2,39	2,62	2,82	2,99
07:40	1,29	1,77	2,09	2,43	2,66	2,85	3,01
07:50	1,33	1,82	2,12	2,46	2,68	2,86	3,02
08:00	1,38	1,85	2,15	2,48	2,69	2,87	3,02
08:10	1,41	1,89	2,18	2,50	2,71	2,88	3,03
08:20	1,46	1,92	2,21	2,53	2,73	2,89	3,03
08:30	1,50	1,96	2,25	2,55	2,75	2,91	3,05
08:40	1,55	2,01	2,29	2,59	2,78	2,94	3,07
08:50	1,61	2,06	2,34	2,64	2,83	2,98	3,10
09:00	1,67	2,12	2,40	2,70	2,88	3,03	3,15
09:10	1,75	2,21	2,49	2,78	2,96	3,10	3,22
09:20	1,87	2,33	2,61	2,90	3,08	3,23	3,34
09:30	2,04	2,51	2,79	3,09	3,27	3,41	3,53
09:40	2,24	2,73	3,03	3,33	3,51	3,65	3,77
09:50	2,48	3,00	3,30	3,61	3,79	3,94	4,06
10:00	2,75	3,29	3,61	3,92	4,12	4,26	4,38
10:10	3,05	3,62	3,94	4,27	4,47	4,62	4,74
10:20	3,36	3,96	4,30	4,64	4,84	5,00	5,12
10:30	3,67	4,30	4,66	5,01	5,22	5,38	5,50
10:40	4,00	4,66	5,03	5,39	5,60	5,77	5,89
10:50	4,34	5,02	5,40	5,77	5,98	6,15	6,28
11:00	4,68	5,38	5,77	6,14	6,36	6,53	6,65
11:10	5,04	5,76	6,15	6,53	6,75	6,92	7,04
11:20	5,44	6,19	6,59	6,97	7,19	7,36	7,48
11:30	5,91	6,67	7,08	7,47	7,69	7,86	7,99
11:40	6,43	7,22	7,64	8,04	8,26	8,43	8,56
11:50	7,00	7,82	8,25	8,65	8,87	9,05	9,17
12:00	7,60	8,43	8,87	9,28	9,50	9,68	9,80
12:10	8,16	9,02	9,46	9,87	10,10	10,27	10,40
12:20	8,66	9,52	9,96	10,38	10,60	10,77	10,90
12:30	9,03	9,89	10,33	10,74	10,96	11,13	11,26
12:40	9,30	10,15	10,59	10,99	11,20	11,37	11,49

Continuación de apéndice 2.

12:50	9,50	10,34	10,77	11,16	11,37	11,53	11,64
13:00	9,63	10,46	10,87	11,25	11,45	11,61	11,72
13:10	9,67	10,47	10,87	11,24	11,44	11,58	11,69
13:20	9,61	10,39	10,77	11,13	11,32	11,46	11,56
13:30	9,45	10,19	10,56	10,90	11,08	11,21	11,31
13:40	9,18	9,88	10,23	10,55	10,72	10,84	10,94
13:50	8,81	9,47	9,80	10,10	10,25	10,37	10,46
14:00	8,37	8,98	9,29	9,57	9,71	9,82	9,90
14:10	7,90	8,47	8,75	9,01	9,14	9,24	9,31
14:20	7,41	7,93	8,19	8,43	8,55	8,64	8,70
14:30	6,92	7,40	7,63	7,85	7,96	8,04	8,10
14:40	6,46	6,90	7,12	7,32	7,42	7,49	7,55
14:50	6,05	6,46	6,66	6,84	6,93	7,00	7,05
15:00	5,69	6,06	6,25	6,41	6,50	6,56	6,60
15:10	5,34	5,68	5,86	6,01	6,08	6,14	6,18
15:20	5,01	5,32	5,48	5,62	5,69	5,74	5,78
15:30	4,70	4,99	5,14	5,27	5,33	5,38	5,42
15:40	4,44	4,71	4,84	4,96	5,02	5,06	5,10
15:50	4,20	4,45	4,58	4,69	4,74	4,78	4,82
16:00	3,98	4,21	4,33	4,43	4,48	4,52	4,55
16:10	3,77	3,99	4,10	4,19	4,24	4,27	4,30
16:20	3,58	3,78	3,88	3,96	4,01	4,04	4,07
16:30	3,38	3,57	3,67	3,74	3,79	3,82	3,84
16:40	3,19	3,37	3,46	3,53	3,57	3,59	3,62
16:50	3,01	3,17	3,25	3,32	3,35	3,38	3,40
17:00	2,83	2,97	3,05	3,11	3,15	3,17	3,19
17:10	2,65	2,78	2,86	2,91	2,94	2,97	2,98
17:20	2,48	2,60	2,67	2,72	2,75	2,77	2,79
17:30	2,31	2,42	2,49	2,54	2,56	2,58	2,60
17:40	2,16	2,26	2,33	2,37	2,39	2,41	2,42
17:50	2,03	2,12	2,18	2,22	2,24	2,25	2,27
18:00	1,91	1,99	2,05	2,08	2,10	2,12	2,13
18:10	1,80	1,87	1,93	1,96	1,98	1,99	2,00
18:20	1,70	1,77	1,82	1,85	1,87	1,88	1,89
18:30	1,61	1,67	1,72	1,75	1,77	1,78	1,79
18:40	1,53	1,58	1,63	1,66	1,67	1,68	1,69
18:50	1,45	1,50	1,55	1,57	1,58	1,59	1,60
19:00	1,37	1,42	1,46	1,48	1,50	1,51	1,51
19:10	1,29	1,34	1,38	1,40	1,41	1,42	1,43
19:20	1,22	1,26	1,30	1,32	1,33	1,34	1,35
19:30	1,15	1,19	1,23	1,24	1,26	1,26	1,27
19:40	1,09	1,12	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19
19:50	1,03	1,06	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13
20:00	0,98	1,00	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07
20:10	0,92	0,95	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01
20:20	0,88	0,90	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96
20:30	0,83	0,85	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91
20:40	0,79	0,81	0,84	0,85	0,86	0,86	0,86
20:50	0,75	0,77	0,80	0,81	0,82	0,82	0,82
21:00	0,71	0,73	0,76	0,76	0,77	0,77	0,77
21:10	0,67	0,68	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73
21:20	0,62	0,64	0,66	0,67	0,68	0,68	0,68

Continuación de apéndice 2.

21:30	0,58	0,59	0,61	0,62	0,63	0,63	0,63
21:40	0,53	0,54	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58
21:50	0,49	0,50	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53
22:00	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49
22:10	0,40	0,41	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44
22:20	0,36	0,37	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40
22:30	0,33	0,33	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35
22:40	0,29	0,29	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
22:50	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28
23:00	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
23:10	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
23:20	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19
23:30	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
23:40	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15
23:50	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
00:00	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
00:10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
00:20	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
00:30	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
00:40	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
00:50	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
01:00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
01:10	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
01:20	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
01:30	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
01:40	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
01:50	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
02:00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:30	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
02:40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
02:50	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:30	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03:50	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Continuación de apéndice 2.

14:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	338,23	378,65	402,98	427,71	443,27	456,29	467,49
Max	9,67	10,47	10,87	11,25	11,45	11,61	11,72

Fuente: elaboración propia.