

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE  
EL SOMBRERO, MUNICIPIO JULIÁN MELLADO, ESTADO  
GUÁRICO.**

**TRABAJO FINAL DE  
GRADO PRESENTADO  
POR LOS BACHILLERES  
PLAZA FERNANDO Y  
CRUZ MIGUEL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO.**

**CIUDAD BOLÍVAR, ABRIL DEL 2018**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA**

**ACTA DE APROBACIÓN**

Este Trabajo de Grado, titulado **ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE EL SOMBRERO, MUNICIPIO JULIÁN MELLADO DEL ESTADO GUÁRICO**, presentado por los bachilleres **Fernando Plaza**, cédula de identidad N° **22.818.819**, y **Miguel Cruz**, cédula de identidad N° **22.856.762**, como requisito parcial para optar por el título de INGENIERO GEÓLOGO, ha sido APROBADO, de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

**Nombre:**

**Firma:**

Prof. Vicente Monsalve Salom

(Asesor)

Prof. Francisco Monteverde

(Jurado)

Prof. Dafnis Echeverría

(Jurado)

Prof. Javier Ramos Madrid  
Jefe de Departamento  
Ingeniería Geológica

Prof. Francisco Monteverde  
Director de Escuela  
Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, 05 de Abril del 2018.

## DEDICATORIA

Primero que nada, a Dios todopoderoso, que es mi fortaleza y mi refugio. Por darme la gracia de poder culminar mis estudios y de esa manera alcanzar una de las metas más importantes en el transcurso de mi vida.

A mis padres Maigualida Salazar y José Plaza, las personas más importantes de mi vida, hoy puedo decirle: este trabajo que representa el logro de una gran meta es de ustedes, en honor al cariño, amor y confianza que desde el momento que decidí soñar en graduarme me brindaron, por la educación y protección que nunca me ha faltado, gracias a ustedes hoy en día soy lo que soy.

A mi hermano Alejandro Plaza, por su compañía y su apoyo incondicional, que espero le sirva de motivación para que luche por cumplir sus sueños. A mis abuelos María y José Luis, a mis tíos Ronny y Rosmery García que estuvieron siempre pendiente de mí y apoyándome en las decisiones que tomara, gracias por todo, son pieza fundamental en mi vida.

A mi novia Abigail Ramírez, quien se ha convertido en una de la persona más importante en mi vida, haciéndome una mejor persona cada día y apoyándome siempre en las buenas y malas, gracias por estar ahí cuando más te necesitaba.

A esa familia que te regala la UDO: José Butto, Eduardo Baena, Jesús Abache, José Márquez, Samir Rojas y Harold Padilla por hacer de esos días en la universidad días alegres y llenos de felicidad.

*Fernando Daniel Plaza Salazar*

Previamente, este logro va dedicado a mi Dios todo poderoso por hacerme una persona de bien, por acompañarme en cada momento y guiarme siempre el camino, a mi hermosa familia que desde lejos y cerca siempre me apoyaron, a mis amigos quienes se convirtieron en familia dentro y fuera de la universidad, a mis profesores que me enseñaron todos los conocimientos necesarios para llegar a ser un gran profesional.

A mi madre Victoria Gimón por darme la vida, guiarme, apoyarme, por hacerme un hombre honesto, por luchar cada día con mucho esfuerzo para que yo pudiera estudiar y alcanzar un título, a mi padre que está en el cielo Miguel Cruz por inculcarme todos los valores, por trabajar cada día para que no me faltara nada para que pudiera estudiar y convertirme en una excelente persona y buen profesional.

A mi hermano Mary Madrid, Marco Madrid y Evelin Cuenca, que siempre han velado por mi bienestar, por estar cuando más los necesito, por cuidarme y confiar en mí en cada momento. A mi tía Ana Gimón, que se convirtió en una segunda madre, ha estado conmigo en momentos difíciles y ha sido pilar importante dentro de mi crecimiento tanto personal y educacional.

A mi novia Sophia Osorio que siempre ha estado a mi lado en momentos malos y buenos, por apoyarme en cada trabajo y examen. A mis amigos Luis Torres, Lismary Gómez, Jhoan Sulbaran, Jhordano González, Génesis Muñoz y Ranner Rojas, quienes se convirtieron en mi segunda familia y me acompañaron en esta gran etapa de mi vida.

*Miguel Alejandro Cruz Gimón*

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradecemos a Dios y a nuestros padres por habernos dado la vida y estar con nosotros protegiéndonos y guiándonos en nuestro camino a lo largo de esta carrera profesional, Por darnos su apoyo incondicional y fortaleza en los momentos más difíciles.

A nuestra querida e ilustre Universidad De Oriente, la casa más alta, por permitirnos obtener una excelente formación, no sólo académica, también social y familiar que, en conjunto, con sus diversidades y complejidades nos han hecho orgullosos de pertenecer a ésta gran casa de estudios.

A nuestro asesor académico Vicente Monsalve Salom, por orientarnos y ayudarnos en la definición del tema desarrollado. Asimismo, por confiar en nosotros para la realización del proyecto del presente trabajo de grado, por su paciencia y apoyo para cada día mejorar la tesis un poco más y hacer de este un Trabajo de Grado de excelencia.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron con la realización de forma directa o indirecta para que este Trabajo de Grado se pudiera completar sin inconvenientes y así optar por el título universitario.

Por último, y no menos importante, a mi compañero de tesis por la realización de este proyecto, siendo fundamental su dedicación, esfuerzo, compromiso, solidaridad, compañerismo y apoyo en cada uno de los pasos durante la elaboración de este Trabajo de Grado.

*Fernando Plaza y Miguel Cruz*

## RESUMEN

El presente Trabajo Especial de Grado, tiene como objetivo central obtener la estimación del Coeficiente de Escurrimiento ( $C_e$ ) y de Infiltración ( $C_{inf}$ ), de la zona de El Sombrero, Municipio Julián Mellado, Estado Guárico. Para poder realizar este estudio, se programó una metodología, la cual consistió en: Recopilación de información bibliográfica y documental relacionada con la investigación propuesta. Se elaboró un mapa de suelos de la zona de estudio (El Sombrero), donde se describen las características naturales propias del terreno. Se recolectó datos climatológicos: lluvia, temperatura y evaporación a nivel medio mensual y lluvias máximas anuales, provenientes de la estación climatológica El Sombrero, serial: 2469, ubicada en las inmediaciones del poblado El Sombrero, estado Guárico; y administrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidráulica (INAMEH). Con los datos de lluvia máxima anual se determinaron los valores de Intensidades Máximas de Lluvia ( $I_{máx}$ ) para cada año del periodo climatológico estudiado, el cual fue el comprendido desde 1965-2000 (24) años, lo que permitió finalmente diseñar todos los Hietogramas de lluvia para tormenta respectiva del período considerado. Luego utilizando las metodologías de Liu y Wang y de Cartaya (Liu-Wang, modificado), se estimaron los valores de Coeficiente de Escurrimiento y de Infiltración, para la zona de El Sombrero. También se utilizó el Método del Número de Curva (CN) o Soil Conservation de los Estados Unidos, el cual establece una relación entre los sistemas Suelo-Cobertura Vegetal, al considerar el uso del suelo, como su capacidad de retención de humedad estacional lo cual permite el desarrollo agrícola típico de la zona, como también cualesquier experimentación de rubros agrícolas a desarrollar; y finalmente se aplicó una metodología propuesta por el creador y tutor de la investigación Prof. Vicente Monsalve, referente a la utilización de un método ponderado de escurrimiento, donde se considera fundamentalmente las superficies de los diversos usos de suelo en la zona estudiada, y su respectivo coeficiente de escurrimiento promedio espacial, permitiendo finalmente la obtención de un valor estimado de coeficiente promedio espacial para toda la zona en estudio. Al analizar e interpretar todos los resultados obtenidos por los diferentes métodos aplicados, se tomó el valor técnico-científico óptimo, al considerar todas las propiedades físico-naturales de la zona estudiada. Los valores estimados para cada método fueron: Liu-Wang,  $C_e = 29,31\%$ ; Cartaya (Liu-Wang, modificado),  $C_e = 41,91\%$ ; Número de Curva,  $C_e = 47,52\%$ ; y Ponderado de Escurrimiento,  $C_e = 27,80\%$ ; siendo la conclusión de que los valores óptimos satisfactorios, son los arrojados por los métodos de Cartaya (Liu-Wang, modificado), y Número de Curva del Soil Conservation, para lo cual se tomó el promedio espacial de dichos valores que, siendo este igual  $C_e = 44,72\%$ , y por complemento el  $C_{inf} = 55,28 \%$ .

## CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN.....	vi
CONTENIDO .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABLAS .....	xiv
LISTA DE APÉNDICES .....	xvi
LISTA DE ANEXOS .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	1
SITUACION A INVESTIGAR .....	2
1.1 Situación objeto de estudio .....	2
1.2 Objetivos de investigación .....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.4 Alcance de la investigación.....	5
1.5 Limitaciones de la investigación.....	5
CAPÍTULO II .....	6
GENERALIDADES .....	6
2.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	6
2.2 Acceso al área de estudio .....	7
2.3 Bosquejo Histórico de El Sombrero.....	8
CAPÍTULO III .....	10
MARCO TEÓRICO.....	10
3.1 Antecedentes de la investigación .....	10
3.2 Fundamentos teóricos .....	10
3.2.1 Método de Liu-Wang .....	10
3.2.2 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado).....	14
3.2.3 Método de Número de Curva SCS (Soil Conservaticon Service of US) ...	15
3.2.4 Método Ponderado de Esgurrimiento.....	24
3.3 Definición de términos básicos .....	26

3.3.1 Meteorología .....	26
3.3.2 Climatología.....	26
3.3.3 Hidrología .....	26
3.3.4 Hidrografía.....	27
3.3.5 Hidrometeorología .....	27
3.3.6 Ciclo Hidrológico.....	27
3.3.7 Precipitación.....	28
3.3.8 Mecanismo de la precipitación .....	29
3.3.9 Llovizna .....	30
3.3.10 Lluvia .....	30
3.3.11 Estación meteorológica .....	30
3.3.12 Estación climatológica .....	30
3.3.13 Medición de la precipitación.....	31
3.3.14 Pluviómetro.....	31
3.3.15 Pluviógrafo.....	32
3.3.16 Medición de la lluvia mediante el uso del radar .....	32
3.3.17 Medición de la lluvia mediante el uso del satélite .....	33
3.3.18 Intensidad de lluvia (I) .....	35
3.3.19 Intensidad de lluvia efectiva ( $I_{efec}$ ) .....	35
3.3.20 Curva de masa.....	35
3.3.21 Hietograma de lluvia.....	36
3.3.22 Escurrimiento superficial .....	37
3.3.23 Lámina escurrida.....	37
3.3.24 Tipos de escurrimiento.....	37
3.3.25 Factores climáticos de escurrimiento.....	38
3.3.26 Factores fisiográficos de escurrimiento .....	39
3.3.27 Coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ).....	41
3.3.28 Infiltración.....	42
3.3.29 Lámina infiltrada.....	42
3.3.30 Coeficiente de infiltración ( $C_{inf}$ ) .....	42
3.3.31 Drenaje urbano .....	42
3.3.32 Mapa de uso de suelos .....	42
CAPÍTULO IV .....	43
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	43
4.1 Tipo de Investigación.....	43
4.2 Diseño de la investigación .....	43
4.3 Población de la investigación.....	44
4.4 Muestra de la investigación.....	45
4.5 Etapas de la investigación .....	45
4.5.1 Etapa I. Documentación.....	46

4.5.2 Etapa II. Visita de campo .....	46
4.5.3 Etapa III. Procesamiento de datos .....	46
4.5.4 Etapa IV. Metodología aplicada.....	47
4.5.5 Etapa V. Análisis e interpretación de resultados.....	48
4.5.6 Etapa VI. Conclusiones y Recomendaciones.....	49
4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	49
4.7 Mapas de uso de suelos .....	50
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>53</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
5.1 Identificación del clima y de las variables climatológicas del área de estudio .	53
5.1.1 Determinación de la precipitación media mensual .....	54
5.1.2 Determinación de la evaporación media mensual.....	55
5.1.3 Determinación de la temperatura media mensual .....	56
5.2 Identificación de la geología del área de estudio .....	58
5.2.1 Evolución histórica .....	58
5.2.2 Geológica local .....	59
5.2.3 Formación Chaguaramas o Quiamare.....	59
5.3 Identificación de la geomorfología del área de estudio .....	61
5.4 Identificación de suelos del área de estudio.....	61
5.5 Identificación de la vegetación del área de estudio.....	62
5.6 Identificación de la hidrología del área de estudio.....	62
5.7 Estimación del Coeficiente de Esguerrimiento superficial (Ce) .....	63
5.7.1 Método de Liu-Wang .....	63
5.7.2 Método de Cartaya (Liu y Wang, modificado) .....	81
5.7.3 Método de Número de Curva SCS (US Soil Conservation Service) .....	97
5.7.4 Método Ponderado de Esguerrimiento.....	103
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
Conclusiones .....	112
Recomendaciones.....	115
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>117</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>141</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación geográfica de El Sombrero (Google Maps, 2017). .....	7
2.2 Vía de acceso a El Sombrero (Google Maps, 2017). .....	7
3.1 Curva de masa de precipitación. ....	36
3.2 Hietograma de lluvia. ....	36
4.1 Flujograma de la investigación .....	45
4.2 Logo del Programa ArcGIS®. Aplicación ArcMap™ .....	50
4.3 Vista espacial del satélite Landsat 8. ....	52
5.1 Distribución temporal de la lluvia media mensual en (mm). Estación:El Sombrero. Período climatológico: 1943-2002 (59 años).....	54
5.2 Distribución temporal de la evaporación media mensual en (mm). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1953-1983 (30 años). ....	56
5.3 Distribución temporal de la temperatura media mensual en (°C). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1970-1982 (12 años). ....	57
5.4 Columna Estratigráfica Meso Regional (PDVSA, 2009). ....	60
5.5 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1965. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	68
5.6 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1966. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	68
5.7 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1967. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	69
5.8 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1968. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	69
5.9 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1969. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	70
5.10 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1970. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	70
5.11 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1971. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	71
5.12 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1972. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	71

5.13	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1973. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	72
5.14	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1974. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	72
5.15	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1975. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	73
5.16	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1976. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	73
5.17	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1977. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	74
5.18	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1978. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	74
5.19	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1979. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	75
5.20	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1980. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	75
5.21	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1981. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	76
5.22	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1990. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	76
5.23	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1995. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	77
5.24	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1996. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	77
5.25	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1997. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	78
5.26	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1998. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	78

5.27	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1999. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	79
5.28	Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 2000. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.....	79
5.29	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1965. Estación Climatológica: El sombrero,Estado Guárico.....	83
5.30	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1966. Estación Climatológica: El sombrero,Estado Guárico.....	84
5.31	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1967. Estación Climatológica: El sombrero,Estado Guárico.....	84
5.32	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1968. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	85
5.33	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1969. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	85
5.34	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1970. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	86
5.35	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1971. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	86
5.36	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1972. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	87
5.37	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1973. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	87
5.38	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1974. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	88
5.39	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1975. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	88
5.40	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1976. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	89
5.41	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1977. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	89

5.42	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1978. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	90
5.43	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1979. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	90
5.44	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1980. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	91
5.45	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1981. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	91
5.46	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1990. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	92
5.47	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1995. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	92
5.48	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1996. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	93
5.49	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1997. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	93
5.50	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1998. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	94
5.51	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1999. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	94
5.52	Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 2000. Estacion Climatológica: El Sombrero, Estado Guárico. ....	95
5.53	Valores pertenecientes al coeficiente de escurrimiento para los métodos: Liu-Wang, Cartaya (Liu-Wang modificado), Número de Curva SCS (Soil Conservation de U.S), Ponderado de Ecurrimiento.....	111

## LISTA DE TABLAS

	Página
3.1 Valores de los parámetros a y b para la relación de las condiciones físicas de las cuencas hidrográficas (suelos, cobertura vegetal, geología y geomorfología) vs condiciones de humedad del suelo. ....	11
3.2 Condiciones de Humedad Antecedente del Suelo [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C) - Diseño de Presas Pequeñas]. ....	17
3.3 Característica de la cobertura vegetal [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C) - Diseño de Presas Pequeñas]. ....	19
3.4 Número de Curva [CN(II)] de Escurrimiento para las diferentes combinaciones Hidrológicas Suelos-Vegetación [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C). Manual de Presas Pequeñas]. ....	19
3.5 Clasificación de los suelos según su potencial de escorrentía [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C). Diseño de Presas Pequeñas]. ....	21
3.6 Clasificación del Coeficiente de Escurrimiento, según su Potencial. ....	22
3.7 Número de Curva [CN(I) y CN(III)], para la condición de humedad antecedente CN(II). United States, Department of Interior, Bureau or Reclamation (Washington, D.C.) Diseño de presas pequeñas.]. ....	23
4.1 Características del Satélite Lansat 8 (Sensores OLI y TIRS). ....	52
5.1 Resumen estadístico de la precipitación media mensual en (mm). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1943-2002 (59 años). ....	54
5.2 Resumen estadístico de la evaporación media mensual en (mm). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1953-1983 (30 años). ....	55
5.3 Resumen estadístico de la temperatura media mensual en (°C). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1970-1982 (12 años). ....	57
5.4 Valores de Lluvia Máxima en (mm). Duración 0,5 horas, Estación climatológica El Sombrero, período climatológico: 1965-2000 (24 años). ....	63
5.5 Valores de lluvia e intensidad máxima estación climatológica: El Sombrero, Período climatológico: 1965-2000 (24 años). ....	64
5.6 Valores de Diseño del Método de Liu-Wang. El Sombrero, Estado Guárico. ....	66
5.7 Valores de diseño del índice de pérdidas ( $\Phi$ ), del método de Liu-Wang, para la condición de humedad del suelo: Húmedo, y para la descripción de las condiciones de terreno: Suelos arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso. ....	66
5.8 Valores de Intensidad Máxima ( $I_{\text{máx}}$ ), Índice de Infiltración ( $\Phi$ ), Lámina Efectiva (Lefec), Lámina Infiltrada (Linf), Lámina Precipitada (Lp), Coeficiente de Escurrimiento (Ce) y Coeficiente de Infiltración (Cinf)	

	Período Climatológico: 1965 - 2000 (24 años). Condición de Humedad Antecedente: Húmedo. Descripción del Terreno: Suelos arenosos, floresta vegetal original con un piso florestal denso. ....	80
5.9	Valores de diseño del índice de pérdidas ( $\Phi$ ). Método de Cartaya (Liu - Wang, modificado) El Sombrero, Período climatológico: 1965-2000 (24 años).....	82
5.10	Valores de Intensidad Máxima ( $I_{m\acute{a}x}$ ), Índice de Infiltración ( $\Phi$ ), Lámina Efectiva ( $L_{efec}$ ), Lámina Infiltrada ( $L_{inf}$ ), Lámina Precipitada ( $L_p$ ), Coeficiente de Escurrimiento ( $C_e$ ) y Coeficiente de Infiltración ( $C_{inf}$ ). Período Climatológico: 1965 - 2000. Diseño del Método de Cartaya (Liu y Wang, Modificado).....	95
5.11	Valores de Número de Curva CN(II). El Sombrero – Estado Guárico.....	98
5.12	Valores de Número de Curva CN (III). El Sombrero – Estado Guárico.....	98
5.13	Valores de Infiltración Potencial (S) en (mm). Condición III (Saturado de Humedad) El Sombrero – Estado Guárico. ....	99
5.14	Valores de lámina efectiva de escurrimiento ( $l_{efe}$ ) en (mm) CN(III) El Sombrero, Estado Guárico.....	101
5.15	Valores de Coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) y de Infiltración ( $C_{inf}$ ).....	102
5.16	Valores de Infiltración Potencial (S) en (mm), para cada uso de suelo de la zona de El Sombrero.....	105
5.17	Valores de coeficiente de lámina efectiva ( $L_{efec}$ ) y coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ). Uso de Suelo: Vialidad.....	105
5.18	Valores de coeficiente de lámina efectiva ( $L_{efec}$ ) y coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ). Uso de Suelo: Urbanismo.....	106
5.19	Valores de coeficiente de lámina efectiva ( $L_{efec}$ ) y coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ). Uso de Suelo: Pecuario.....	107
5.20	Valores de coeficiente de lámina efectiva ( $L_{efec}$ ) y coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ). Uso de Suelo: Agrícola.....	108
5.21	Valores de Coeficiente de Escurrimiento Promedio Espacial, según el uso de suelo y su superficie de hectáreas (has). ....	108
5.22	Valores estimados de coeficiente de escurrimiento y de infiltración, El Sombrero, municipio Julián Mellado, estado Guárico. ....	109

## LISTA DE APÉNDICES

	Página
<b>A. FOTOGRAFÍAS DE CAMPO.....</b>	<b>120</b>
A.1 Entrada de El Sombrero, troncal 13 .....	121
A.2 Vía El Sombrero, carretera nacional. ....	121
A.3 Puente de El Sombrero.....	122
A.4 Río Guárico, parte derecha del puente de El Sombrero .....	122
A.5 Río Guárico, parte izquierda del puente de El Sombrero.....	123
A.6 Vegetación de El Sombrero.....	123
A.7 Suelo de El Sombrero.....	124
A.8 Plaza Bolívar, centro de El Sombrero (Estado Guárico).....	124
<b>B. MAPAS TEMÁTICOS DE VENEZUELA .....</b>	<b>125</b>
B.1 Mapa Climatológico de Venezuela .....	126
B.2 Mapa Geológico de Venezuela.....	127
B.3 Mapa Geomorfología de Venezuela.....	128
B.4 Mapa de Suelos de Venezuela.....	129
B.5 Mapa Vegetación de Venezuela .....	130
B.6 Mapa de Cuencas Hidrográficas de Venezuela .....	131
B.7 Mapa de Provincias Hidrogeográficas.....	132
B.8 Sección de Mapa Hidrogeológico de Venezuela.....	133
<b>C. DATOS CLIMATOLÓGICOS.....</b>	<b>134</b>
C.1 Precipitación Media Mensual en (mm), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, 2017). Estación Climatológica: El Sombrero. Serial: 2469.....	135
C.2 Evaporación Media Mensual en (mm), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, 2017). Estación Climatológica: El Sombrero. Serial: 2469.....	137
C.3 Temperatura mínima media mensual (°C) Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, 2017). Estación Climatológica: El Sombrero. Serial 2469.....	138
<b>D. TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA .....</b>	<b>139</b>
D.1 Tabla Cronoestratigráfica (Comisión Internacional de Estratigrafía, 2015) ..	140

## **LISTA DE ANEXOS**

- 1 MAPA DE USO DE SUELOS DE EL SOMBRERO, MUNICIPIO JULIÁN MELLADO, ESTADO GUÁRICO.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hidráulicos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con el suministro de agua potable, industrial, disposición de aguas servidas, drenaje y protección contra la acción de eventos extraordinarios.

Ahora bien, el coeficiente de escorrentía es uno de los parámetros fundamentales de la hidrología superficial, pues representa la porción de la precipitación que fluye sobre el terreno y se convierte en caudal; al mismo tiempo existe una cierta pérdida de lluvia para la cual no ocurre escorrentía, por causa de la infiltración, la cual también juega un papel importante en los diseños de obras hidráulicas.

De allí la importancia, de poder manejar un valor estimado de coeficiente de escurrimiento promedio espacial con solidez técnico-científica, como variable hidrológica para la planificación, diseño y construcción de sistema de drenajes urbanos y rurales de una zona determinada en estudio.

El necesitar definir cuáles son las metodologías para la estimación de esta variable hidráulica (coeficiente de escurrimiento), y que sean aplicables para las características físicas hidrológicas en la zona de estudio, nos impulsa a realizar un trabajo de investigación que solvente estas necesidades de la mejor manera posible, y que permitan perfeccionar el análisis, diseño, construcción y operación de los sistemas de drenaje urbanos.

# CAPÍTULO I

## SITUACION A INVESTIGAR

### **1.1 Situación objeto de estudio**

El crecimiento demográfico y de expansión físico-territorial que ha venido experimentando el sector geográfico denominado El Sombrero, capital del Municipio Julián Mellado, del estado Guárico, en la última década ha generado la necesidad de mejorar los servicios públicos, entre los cuales toma mucha importancia la recolección y final disposición de los excedentes de las aguas pluviales ocurridas en la zona, mejor conocido en el ámbito de la Ingeniería Civil como drenaje urbano.

El presente Trabajo Especial de Grado, se basa en la estimación del coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), como resultado final de recolectar, reconocer, analizar e interpretar el fenómeno y proceso de lluvia temporal en la zona y su incidencia en las características naturales propias de la zona de El Sombrero como son: la geología, la geomorfología, la hidrología, la cobertura vegetal y la taxonomía de suelos predominante en la zona como también su incidencia en los desarrollos urbanísticos anclados en la zona estudiada; los cuales finalmente generan una respuesta de escurrimiento superficial, que dependiendo de su magnitud pueden producir situaciones de contingencia derivadas de inundaciones y almacenamientos de aguas pluviales, que no pueden evacuarse oportunamente, creando de esta manera pérdidas económicas y sociales a un conglomerado social determinado.

Ante esta posible situación de contingencia probable y considerando al coeficiente de escurrimiento como un parámetro de diseño de apoyo para el desarrollo endógeno, económico y social de una determinada zona a estudiar, el Prof.

Ing. Hidrólogo Vicente Monsalve Salom, ha definido esta línea de investigación, la cual permitirá obtener un valor estimado del coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) de una región determinada, haciendo más eficiente y eficaz el futuro diseño de sistemas de drenajes urbanos, que controlen las aguas pluviales en excedencia, en las áreas urbanas y sus alrededores.

Vale destacar que esta línea de investigación es de aplicación única en el país, por lo cual su relevancia e importancia técnico-profesional en el campo de la ingeniería hidrológica.

## **1.2 Objetivos de investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Estimar el Coeficiente de Escurrimiento ( $C_e$ ), mediante el análisis temporal de la lluvia sobre la zona y su incidencia en las características físico-naturales de El Sombreo, Municipio Julián Mellado, del Estado Guárico.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Identificar el clima y las variables climatológicas (precipitación, evaporación y temperatura) del área de estudio, a través de la interpretación del mapa climatológico presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, (MARNR, 1985) y los datos de la estación climatológica El Sombrero.
2. Identificar la geología del área de estudio, a través de la interpretación del mapa geológico de Venezuela presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, (MARNR, 1985).

3. Identificar la geomorfología del área de estudio, a través de la interpretación del mapa geomorfológico de Venezuela (MARNR, 1985).
4. Identificar la clasificación de suelo del área de estudio, mediante la interpretación del mapa de suelos de Venezuela (MARNR, 1985).
5. Identificar la vegetación del área de estudio, mediante la interpretación del mapa de vegetación de Venezuela (MARNR, 1985).
6. Identificar la hidrología de los cuerpos de agua superficial, y posibles yacimientos de agua subterránea, mediante la utilización del Mapa de Cuencas Hidrográficas de Venezuela y el Mapa Hidrogeológico de Venezuela (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1972).
7. Estimar el potencial de escurrimiento superficial, a través de la aplicación de los métodos: Liu-Wang, Cartaya (Liu-Wang, modificado), Número de Curva SCS (Soil Conservation de U.S) y Ponderado de Escurrimiento.

### **1.3 Justificación de la investigación**

Ante la necesidad de disminuir el posible riesgo de inundaciones presentes en áreas urbanas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias y silvestres, se hace necesario y urgente, la generación e incorporación de la variable hidráulica coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), para la planificación, diseño y construcción, de estructuras hidráulicas de drenajes urbano y rural, que permitan eficiente y eficazmente el control y mitigación, de los excedentes de lluvia de una determinada zona de estudio.

Es por ello que esta línea de investigación adscrita al Departamento de Ingeniería Geológica, de la Escuela de Ciencias de la Tierra, del Núcleo de Bolívar de la Universidad de Oriente, es un apoyo referencial muy importante para que posteriores estudios con mayor profundidad técnica, que permita obtener un valor definitivo y aceptable en tiempo real del coeficiente de escurrimiento (Ce) de una zona determinada, variable de diseño en la planificación, diseño y construcción de sistemas de drenaje urbano y/o rural, que controlan los excedentes de aguas pluviales.

#### **1.4 Alcance de la investigación**

El alcance de esta investigación es la de estimar el coeficiente de escurrimiento (Ce), utilizando como base un periodo climatológico de lluvias máximas, que va desde 1965-2000 (24 años), mediante la interpretación objetiva y técnico-científica, de criterios de comprobada eficiencia y eficacia en el campo de la Climatología, Hidrología Aplicada e Hidráulica, como son los Método de: Liu-Wang, Cartaya (Liu-Wang modificado), Número de Curva SCS (Soil Conservation Service de US) y Ponderado de Escurrimiento, los cuales son una función directa del período de datos de lluvias máximas, que pudieran ser recolectados de la estación climatológica y/o meteorológica, con influencia en la zona de estudio, y el cual debe ser como mínimo de 10 años consecutivos; según las normas técnicas establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M), a la cual está adscrita nuestro país.

#### **1.5 Limitaciones de la investigación**

La mayor limitación en esta investigación, es que en la zona estudiada, como en el resto del país, no existen trabajos relacionados con el tema involucrado, que puedan servir de apoyo técnico en el desarrollo de la investigación; lo que le plantea al investigador la generación creativa de alternativas de estudio.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio**

El poblado de El Sombrero, capital del municipio Julián Mellado del estado Guárico (Figura 2.1), siendo sus límites naturales los siguientes: al norte el municipio Juan Germán Roscio y el Estado Aragua, al sur con el municipio Francisco de Miranda, al oeste con el municipio Ortiz, Al este mantiene un conflicto limítrofe con el estado Aragua.

Este territorio disputado entre Guárico y Aragua, hace que existan dos posiciones respecto a la frontera este, según el límite de Guárico el municipio Julián Mellado limita al este con el municipio Chaguaramas y el municipio José Tadeo Monagas por medio del río Memo, pero esto no es reconocido por Aragua.

Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas: Latitud Norte: 9°23'10,68" - 9°24'0,36" y la longitud -67°3'29,52" -67°03'52,56" O. tiene una superficie de 2.983 km<sup>2</sup>, con una elevación promedio espacial de 163 m.s.n.m.

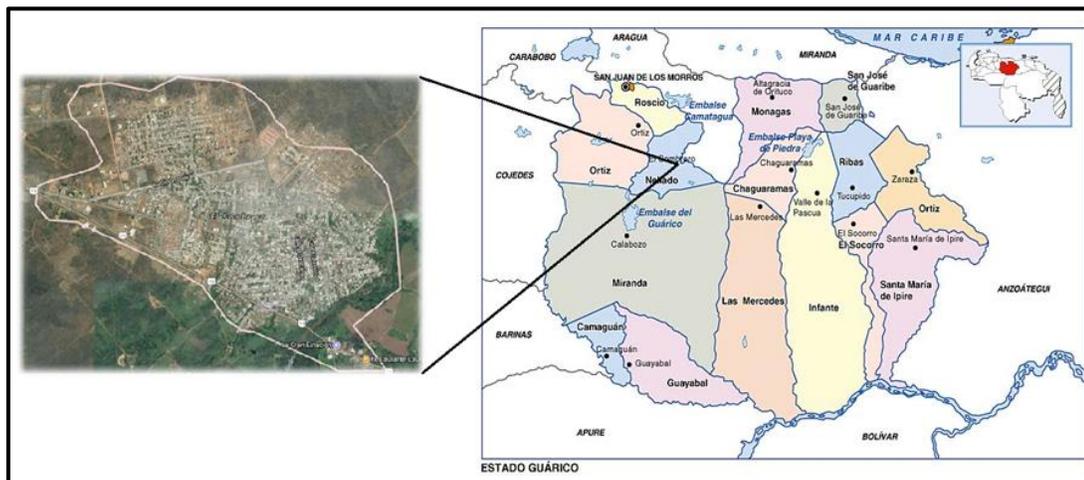


Figura 2.1 Ubicación geográfica de El Sombrero (Google Maps, 2017).

## 2.2 Acceso al área de estudio

La principal vía de acceso a El Sombrero, es por la troncal 13 de la República Bolivariana de Venezuela, que comunica a la región central con la región nor-Oriental de Venezuela en sentido este-oeste. Esta carretera de primer orden parte desde Tinaco en el estado Cojedes, atraviesa el estado Guárico y culmina en el cruce de Aragua en el estado Anzoátegui (Figura 2.2).



Figura 2.2 Vía de acceso a El Sombrero (Google Maps, 2017).

### **2.3 Bosquejo Histórico de El Sombrero**

Para el año de 1764, según Joseph Luis de Cisneros, la localidad se llamaba San Andrés del Sombrero y era un poblado de gente blanca de orilla, creyéndose que, a partir de esa fecha los lugareños la comenzaron a llamarla “El Sombrero”.

El 3 de agosto de 1900, fue designada capital provisional del Estado Guárico, hasta 1904.

Actualmente el poblado de El Sombrero, es la capital del municipio Julián Mellado, del estado Guárico. Ocupa una terraza fluvial a orillas del río Guárico a 163 m.s.n.m de altitud. Su temperatura media es de 26,5 °C, y las precipitaciones medias anuales son de 1200 mm. Antiguamente pertenecía a la Provincia de Caracas, narra la historia que a principios del siglo XVIII, José Miguel Reina, vecino del lugar, descubrió en una quebrada de las cercanías una imagen de una Virgen, que se llamaría posteriormente Virgen del Arroyo y luego Virgen de la Concepción, la cual fue colocada en la capilla del pueblo, surgiendo así de esta manera una gran devoción hacia ella, y convirtiéndose en el tiempo en la patrona de la población de El Sombrero.

El 10 de marzo de 1725 José Miguel Reina, cedió 62 solares a la Virgen, para que se poblaran aquellos que así lo desearan. Otro vecino, Andrés Bomares, donaría luego 200 solares más, lo que en conjunto definiría para ese momento la superficie inicial de El Sombrero. Para el año de 1729 pertenecía al Cabildo de San Sebastián de los Reyes, siendo elevada a parroquia en el año de 1757, siendo primer párroco el Presbítero Jaime Francisco Galindo.

La zona de El Sombrero, era el centro de muchos y grandes hatos de ganado. Se sembraba tabaco, el cual era considerada como el de mejor calidad de la provincia. El

Tabaco se canjeaba (trueque) en Apure, San Jaime y Calabozo, por ganado vacuno, destinado al engorde, siendo luego vendido en la costa norte de la provincia.

En la década de los años 30, el poblado de El Sombrero, era región malsana y palúdica, por estar la población rodeada de lagunas y pantanos permanentes. Entre 1940 y 1945, la explotación petrolera en otros lugares del país provocó un descenso en su población por emigración, pero después de la segunda guerra mundial, arribaron a El Sombrero una nueva gran oleada de inmigrantes españoles, italianos, portugueses, libaneses y ucranianos, como colonos, que una vez asentados, se convirtieron en mano de obra de la empresa petrolera de la época.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes de la investigación**

El antecedente más reciente sobre esta línea de investigación del profesor y tutor Vicente Monsalve Salom, lo representa el Trabajo de Grado titulado: Estimación del coeficiente de escurrimiento de San Juan de los Morros, municipio Juan Germán Roscio del estado Guárico (Urbina, G y Flores, K. 2017), el cual es una experiencia técnica significativa para la región.

#### **3.2 Fundamentos teóricos**

En esta investigación se aplicaron cuatro métodos técnicos-científicos, asociados con las pérdidas de agua (mayormente por infiltración) en la zona de El Sombrero, del Estado Guárico, para de manera convenientemente la estimación del escurrimiento superficial ( $C_e$ ), y de infiltración ( $C_{inf}$ ) por complemento.

A continuación, se describe cada uno de los métodos con su fundamento teórico, y una relevante interpretación de los mismos.

##### **3.2.1 Método de Liu-Wang**

Es un método empírico desarrollado en la República Popular de China, por los investigadores Liu y Wang, miembros del Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de China; y se basa en el estudio en pequeñas cuencas hidrográficas experimentales, con el objetivo de estimar caudales picos o de crecientes, los cuales se ven afectados en su magnitud, por las pérdidas de aguas pluviales en la cuenca

fundamentalmente por infiltración. Liu y Wang, establecieron la siguiente ecuación empírica (3.1):

$$\emptyset = a I^b \quad (3.1)$$

Dónde:

$\emptyset$ : Índice o tasa promedio de pérdidas de lluvia en (mm/h).

I: Intensidad de lluvia expresada en (mm/h).

a y b: Parámetros que muestran las condiciones del terreno: vegetación, condiciones del terreno o superficie y el grado de humedad antecedente del suelo.

Liu y Wang, crearon una tabla que relaciona descripción de las condiciones físicas de la cuenca hidrográfica (suelos, cobertura vegetal, geología y geomorfología) vs condiciones de humedad antecedentes del suelo [Húmedo (saturado de humedad), medianamente húmedo y seco].

Tabla 3.1 Valores de los parámetros a y b para la relación de las condiciones físicas de las cuencas hidrográficas (suelos, cobertura vegetal, geología y geomorfología) vs condiciones de humedad del suelo.

Descripción de las Condiciones del Terreno	Condiciones de Humedad del Suelo					
	Húmedo		Medio		Seco	
	a	b	A	b	a	b
Perfil delgado arcilloso	0,83	0,56	0,93	0,63	1,00	0,68
Arcilloso, arenoso, vegetación pobre, montañas rocosas y regiones con perfiles delgados	0,93	0,63	1,02	0,69	1,08	0,75
Limosos, vegetación pobre, regiones con colinas, perfil grueso pastos	0,98	0,66	1,10	0,76	1,16	0,81
Limosos y con vegetación densa de forestales	1,10	0,76	1,18	0,83	1,22	0,87
<b>Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso</b>	<b>1,22</b>	<b>0,87</b>	1,25	0,90	1,27	0,92

La interpretación del uso del Método de Liu-Wang, se puede resumir en que en primera instancia, utiliza valores de intensidades máximas de lluvia de diseño, para estimar el Índice de Pérdidas ( $\phi$ ) (Ecuación 3.1), variable hidrológica muy compleja y de difícil acceso técnico y de campo. Para la aplicación del Método de Liu y Wang en la zona de El Sombrero, se consideró como condición de humedad del suelo: Húmedo (Saturado), y la condición del terreno, como: Suelos arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso, que es la caracterización que más se identifica plenamente con la clasificación de suelos, según el Mapa de Suelos de Venezuela, adscrito al Atlas de Vegetación de Venezuela, como fuente documentada de información en esta investigación, siendo los valores de los parámetros (a) y (b), que condicionan estas dos características como:  $a = 1,22$  y  $b = 0,87$ , que evaluados en la Ecuación (3.1), permitieron obtener finalmente un valor espacial estimado del Índice de Pérdidas ( $\phi$ ).

Este método, exige la construcción del hietograma de lluvia, que no es más que la distribución discreta de la lluvia o tormenta en el tiempo, sobre la zona en estudio; y cuyo análisis permite la obtención de la Intensidad de Lluvia Efectiva ( $I_{efec}$ ) expresada en mm/h (Ecuación 3.2), que se convierte en lámina de escurrimiento superficial efectiva, para un cierto tiempo denominado tiempo efectivo de escurrimiento ( $T_{efec}$ ), como lo plantean las ecuaciones (3.3) y (3,4).

$$I_{efec} = [I_{m\acute{a}x} - \emptyset] \text{ (mm/h)} \quad (3.2)$$

Dónde:

$I_{efec}$  = Intensidad efectiva en (mm/h).

$I_{m\acute{a}x}$  = Intensidad máxima en (mm/h).

$\emptyset$  = Índice o tasa promedio de pérdidas de lluvia en (mm/h).

$$I_{efec} = \frac{L_{efec}}{t_{efec}} \quad (3.3)$$

$$L_{efec} = I_{efec} * t_{efec} \quad (3.4)$$

Dónde:

$L_{efec}$  = Lámina efectiva en (mm).

$t_{efec}$  = Tiempo efectivo en (h).

En este estudio, por asesoramiento del tutor del trabajo especial de grado, se consideró que la mayoría de pérdidas de agua en una zona determinada ocurren por infiltración fundamentalmente, es decir, lo que no infiltra, debe escurrir, permitiendo de esta manera expresar las ecuaciones (3.5), (3.6) y (3.7), como sustento físico-matemático.

$$L_p = L_{inf} + L_{efec} \quad (3.5)$$

$$L_{inf} = L_p - L_{efec} \quad (3.6)$$

$$L_{efec} = L_p - L_{inf} \quad (3.7)$$

Finalmente se procede a estimar los coeficientes de escurrimiento e infiltración respectiva, según la ecuación (3.8) y (3.9):

$$C_e = \frac{L_{efec}}{L_p} \quad (3.8)$$

Dónde:

$C_e$  = Coeficiente de escurrimiento.

$$C_{inf} = \frac{L_{inf}}{L_p} \quad (3.9)$$

Dónde:

$C_{inf}$  = Coeficiente de infiltración.

Es necesario resaltar que la Tabla 3.1 ofrece una debilidad bien marcada para el Método Liu-Wang, debido a que representa un alto grado de incertidumbre técnica, por su generalidad y amplitud espacial, en cuanto a la caracterización físico-natural sobre la descripción de las condiciones del terreno

### 3.2.2 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado)

Este método está basado en un estudio particularizado que realizó el Ing. Venezolano Humberto Cartaya (Guevara, E. y Cartaya, H. 1991), con su empresa HIDROMET-1980 en el cual, él estimó los parámetros a y b de Liu-Wang, sobre la base del análisis de 50 tormentas y sus respectivos Hidrogramas Unitarios en 11 cuencas hidrográficas de diversos tamaños, ubicadas en la región norte y centro Occidental de Venezuela, específicamente en los estados: Miranda, Carabobo, Falcón, Guárico, Portuguesa y Apure, dando como resultado por correlación estadística los siguientes valores:  $a = 1,09$  y  $b = 0,85$ ; lo que permitió finalmente redefinir la relación empírica Liu-Wang, para estimar el Índice de Pérdidas ( $\emptyset$ ) de la ecuación (3.10):

$$\emptyset = 1,09 \times I^{0,85} \quad (3.10)$$

Dónde:

$\emptyset$  = Índice de pérdida en (mm/h).

$I$  = Intensidad de la lluvia en (mm/h).

1,09 y 0.85 = Parámetros propios de la zona en estudio.

Una vez obtenido el valor estimado del Índice de Perdidas  $\emptyset$ , el procedimiento de cálculo es análogo al efectuado en el Método de Liu Wang.

La interpretación del uso del Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado), muy importante y destacada, está basada en una regionalización hidrológica de la teoría Liu-Wang, aplicada en la región norte y centro occidental de Venezuela, abarcando los estados: Miranda, Carabobo, Falcón, Guárico, Portuguesa y Apure; obteniéndose por correlación estadística valores de los parámetros (a) y (b), regionalizados para toda la zona estudiada. Estos fueron:  $a = 1,09$  y  $b = 0,85$ , permitiendo de esta manera una redefinición de la relación empírica Liu-Wang, para estimar el Índice de Pérdidas ( $\emptyset$ ), como se observa en la ecuación (3.10).

Vale destacar que el Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado), ha arrojado buenos resultados en el estado Guárico, por lo cual esperamos lo mismo para el estudio de la zona de El Sombrero.

### **3.2.3 Método de número de curva SCS (Soil Conservacion Service of US)**

Es un procedimiento creado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation. (1966)], el cual permite estimar la escorrentía producidas por grandes tormentas, basándose fundamentalmente en la relación existente suelo-cobertura vegetal promedio espacial de la zona o cuenca hidrográfica estudiada; y la humedad antecedente que presenta el suelo (diferencia estadística), ante la ocurrencia del fenómeno pluviométrico de máxima lluvia que se esté evaluando como parámetro de

diseño, ya que la escorrentía total sobre la zona estudiada es una función directa de la infiltración total sobre la realidad suelo-cobertura vegetal.

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los estados Unidos, analizando un gran número de tormentas recopilados por la “Hydrology Guide for use in Watershed Planning” [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation. (1987)], desarrollo dos ecuaciones empíricas que permiten estimar la infiltración potencial (S) de lluvia o tormenta sobre el área de influencia de la misma, escurrida y/o la lámina efectiva (Q), sobre el suelo una vez saturado de humedad. Las ecuaciones (3.11) y (3.12) describen la relación respectivamente

$$S = \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (3.11)$$

Dónde:

S = Infiltración potencial de los suelos de la cuenca hidrográfica en (mm).

CN = Número de curva de diseño.

$$Q = I_{efec} = \frac{(P - 0,2 S)^2}{(P + 0,8 S)} \quad (3.12)$$

Dónde:

Q =  $I_{efec}$  = Escorrentía real o lluvia efectiva en (mm).

P = Lluvia de diseño en (mm).

S: Infiltración potencial en el sistema suelo-cobertura vegetal en (mm)

Se hace necesario establecer que el Método del Número de Curva (CN), maneja un concepto físico-hidrológico del llamado número de curva (CN), el cual se asocia a un valor empírico expresado en porcentaje de escurrimiento superficial, que puede ser

estimado mediante un conjunto de tablas dependientes de la humedad antecedente del suelo y su uso respectivamente. El valor definido de Número de Curva (CN) de diseño, será equivalente al valor de coeficiente de escurrimiento estimado para la zona en estudio.

Las Tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 resumen la información necesaria y completa, que permite aplicar el método.

Tabla 3.2 Condiciones de Humedad Antecedente del Suelo [United States. Department of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C) - Diseño de Presas Pequeñas].

<b>Condición de Humedad Antecedente (AMC)</b>	<b>Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (mm)</b>
I	0 – 36
II	36,1 – 52,5
III	Más de 52,5

La interpretación de la Tabla 3.2, resume la relación de condición de humedad antecedente del suelo, según la lluvia acumulada cinco (5) días previos al evento considerado, también conocida como lluvia máxima o tormenta de diseño registrada en la estación climatológica con influencia en la zona en estudio. El Método del Número de Curva, presenta tres (3) condiciones de humedad antecedente, como son: Condición de Humedad Antecedente I: establece que la lluvia acaecida en la zona cinco (5) días antes de lluvia máxima o tormenta de diseño, está en el rango 0-36 mm de lluvia; Condición de Humedad Antecedente II: establece que la lluvia acaecida en la zona cinco (5) días antes de lluvia máxima o tormenta de diseño, está en el rango de 36,1-52,5 mm de lluvia; y Condición de Humedad Antecedente III: establece que la lluvia acaecida en la zona cinco (5) antes de lluvia máxima o tormenta de diseño, está en el rango de más de 52,5 mm de lluvia. Considerando el criterio meteorológico de Koeppen (Mapa de Clasificación Climática de Koeppen), que plantea que la ocurrencia y desarrollo de la lluvia, es directamente proporcional a la magnitud de la

misma, significando que el valor de la lluvia total evaluada, permite definir la condición meteorológica intrínseca para una zona determinada, donde habrá presencia de meses secos y meses húmedos, donde tal concepto también es válido físicamente para los suelos. De esta manera cumpliendo el criterio de Koeppen, durante un año deberá existir un número de meses secos y otros húmedos, donde las lluvias totales mayores de 50 mm, se considerarán “meses húmedos”, valores menores a 50 mm, “meses secos”, y alrededor de los 50 mm, “meses medianamente húmedos”, esto permite afirmar la equivalencia con los suelos, es decir, existirán durante el año: suelos secos, suelos húmedos (saturados de humedad), y suelos medianamente húmedos. Con este criterio, podemos afirmar que la Tabla 3.2 define entonces tres condiciones de humedad de diseño: Condición de Humedad Antecedente I: para suelo seco; Condición de Humedad Antecedente II: para suelo medianamente húmedo; y Condición de Humedad Antecedente III: para suelo húmedo (saturado de humedad), los cuales llevan asociados de manera directa tres Números de Curva (CN) de Diseño, como son: CN(I): para suelos en sequía, CN(II): para mediana humedad en los suelos, y CN(III): para suelos saturados de humedad, muy próximos a producir escurrimiento superficial.

La condición de humedad antecedente utilizada en esta investigación, fue la Condición de Humedad Antecedente III, donde precisamente el CN(III) es lo que se quiere estimar. Hay que destacar que primeramente se debe determinar en CN(II), que asocia la condición media de humedad del suelo mediante la Tabla 3.4, y luego se debe extrapolar el valor de número de curva de diseño, tomando en cuenta la condición de humedad antecedente seleccionada para el estudio: I (sequía) o III (saturación de humedad).

Tabla 3.3 Característica de la cobertura vegetal [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C) - Diseño de Presas Pequeñas].

<b>Característica</b>	<b>Cobertura Vegetal</b>
Buena	> 75 %
<b>Regular</b>	<b>50 % &lt; cobertura &gt;75 %</b>
Mala	< 50 %

La interpretación de la Tabla 3.3, plantea que existen tres (3) características de volúmenes de cobertura vegetal o de densidad vegetal, las cuales son: Buena, con un 75% de cobertura vegetal; Regular, con cobertura vegetal entre 50% y 75%; y Mala: con una cobertura vegetal menor a 50%. Hay que precisar que estas cantidades en porcentajes, son con respecto a la totalidad del área en estudio.

La zona de El Sombrero, posee una cobertura vegetal Regular, estando ubicada geográficamente en la zona de vida de Bosque Seco Tropical (BST), del Mapa Ecológico del Dr. L. R. Holdridge, modificado, la cual no se contradice con el tipo de clima prevaleciente de: Clima Lluvioso Cálido de tipo A, Sub-tipo: (Aw'i), correspondiente a Sabanas (herbazales) y Bosques Tropófilos semi-secos, con un solo máximo de lluvia al año de un total aproximado de 7 a 6 meses de lluvia.

Tabla 3.4 Número de Curva [CN(II)] de Esgurrimento para las diferentes combinaciones Hidrológicas Suelos-Vegetación [United States. Departament of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C). Manual de Presas Pequeñas].

<b>Cobertura</b>			<b>Grupo de Suelos</b>			
<b>Uso de la Tierra</b>	<b>Tratamiento o Práctica</b>	<b>Condición Hidrológica</b>	A	B	C	D
			<b>Número de Curva</b>			
Rastrojo	Hileras Rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en Hileras (maíz, sorgo, soya, tomates, remolacha azucarera)	Hileras Rectas	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de Nivel	Mala	70	79	84	88

Continuación de la Tabla 3.4

		Buena	65	75	82	86
	Curvas de Nivel y Terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
<b>Cultivos en Hileras Estrechas (trigo, avena, lino, cebada)</b>	<b>Hileras Rectas</b>	<b>Mala</b>	65	<b>76</b>	84	88
		<b>Buena</b>	63	<b>75</b>	83	87
	Curvas de Nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de Nivel y Terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en Hileras Estrechas o Forraje en Rotación (alfalfa)	Hileras Rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de Nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de Nivel y Terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
<b>Pastos de Pastoreo</b>	<b>Sin Tratamiento Mecánico</b>	Mala	68	79	86	89
		<b>Regular</b>	49	<b>69</b>	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de Nivel	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Pastos de Corte	---	Buena	30	58	71	78
<b>Bosques</b>	---	Mala	45	66	77	83
	---	<b>Regular</b>	36	<b>60</b>	73	79
	---	Buena	25	55	70	77
Camino de Tierra	---	Regular	72	82	87	89
<b>Camino Pavimentados</b>	---	<b>Buena</b>	74	<b>84</b>	90	92

La interpretación de la Tabla 3.4, resume la relación de diversos tipos y usos de suelo, y sus respectivos tratamientos agrícolas, quienes conforman complejos hidrológicos de suelo-cobertura vegetal. Para reconocer los diversos usos de suelo en tiempo real de la zona a estudiar, se hace necesario el diseño y manejo de un mapa temático especial (mapa satelital) (Anexo 1). De esta manera se logra establecer un valor referencial de diseño para la Condición de Humedad Antecedente II, de mediana humedad en los suelos, a la cual se le asocia un Número de curva CN(II), expresado porcentaje de escurrimiento, según el uso de la tierra, tratamiento o

práctica agrícola, y la condición hidrológica (capacidad de infiltración). A mayor valor del número de curva CN(II), mayor será el volumen de escurrimiento superficial que puede esperarse al considerar una tormenta sobre la zona de estudio.

Tabla 3.1 Clasificación de los suelos según su potencial de esorrentía [United States. Department of Interior. Bureau of Reclamation (Washington, D.C). Diseño de Presas Pequeñas].

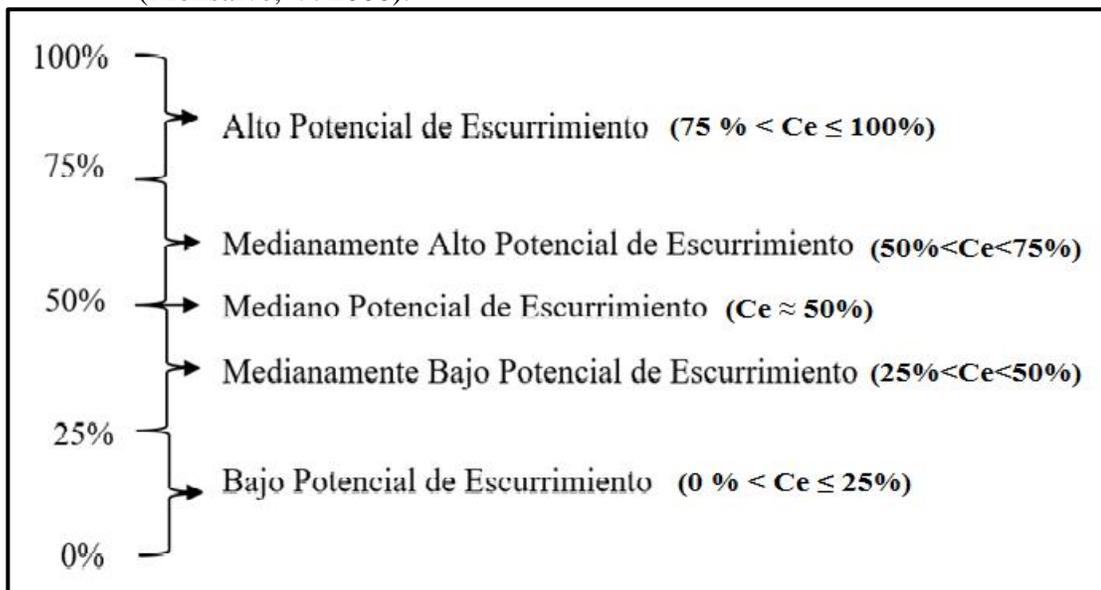
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	<p>Bajo Potencial de Escurrimiento.</p> <p>Suelos que tienen alta rata de infiltración aun cuando muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas bien o excesivamente bien drenados. Esos suelos tienen una alta rata de transmisión de agua.</p>
B	<p><b>Moderadamente Bajo Potencial de Escurrimiento.</b></p> <p><b>Son suelos con ratas de infiltración moderadas cuando muy húmedos. Suelos moderadamente profundos o profundos, moderadamente drenados o bien drenados, suelos con texturas moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con ratas de transmisión de agua moderadas.</b></p>
C	<p>Moderadamente Alto Potencial de Escurrimiento.</p> <p>Suelos con infiltración lenta cuando muy húmedo. Consiste de suelos con un alto estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelo con textura moderadamente fina a fina; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcali. Estos suelos pueden ser pobremente drenados o moderadamente bien drenados con estratos de permeabilidad de lenta a muy lenta.</p>
D	<p>Alto Potencial de Escurrimiento.</p> <p>Son suelos de infiltración muy lenta cuando muy húmedos. Consiste en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con extracto arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcali, suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una rata de transmisión de agua muy lenta.</p>

La interpretación de la Tabla 3.5, resume las características típicas de escurrimiento, para cuatro (4) tipos de suelos bien definidos mecánicamente como son: Suelo Tipo A: Bajo Potencial de Escurrimiento; Suelo Tipo B:, Moderadamente Bajo Potencial de Escurrimiento; Suelo Tipo C: Moderadamente Alto Potencial de

Escurrimiento; y Suelo Tipo D: Alto Potencial de Escurrimiento, los cuales deben esas propiedades de escurrimiento a la granulometría promedio espacial presente en el horizontes de suelo más sub-superficial, y cuya característica fundamental se debe a la evolución geológica y geomorfológica, que genera un determinado tipo de suelo que predomina en promedio espacialmente sobre la zona de estudio.

Partiendo de estos conceptos técnicos para los diversos tipos de suelos, el asesor del Trabajo Especial de Grado, apporto la Tabla 3.6, que interpreta de manera más eficiente las distintas clasificaciones de potencial de escurrimiento, en la cual el término “Moderadamente” se equivale con el de “Medianamente”, con intervalos de fluctuación del coeficiente de escurrimiento de diseño.

Tabla 3.6 Clasificación del Coeficiente de Escurrimiento, según su Potencial (Monsalve, V. 2000).



La clasificación y selección del tipo de suelo en estudio, según la Tabla 3.5 del Método del Número de Curva, debe partir de la interpretación cierta y adecuada de la evolución histórica de la geología y la geomorfología de la zona, la cual debe

compararse con la información técnica documentada presentada en la misma, logrando finalmente una conclusión acertada teóricamente y/o experimental de campo (mediciones) si fuere el caso, para toda la zona considerada en el estudio.

Tabla 3.7 Número de Curva [CN(I) y CN(III)], para la condición de humedad antecedente CN(II). United States Department of Interior, Bureau of Reclamation (Washington, D.C.) Diseño de presas pequeñas.

CN PARA CONDICIÓN II	CN PARA CONDICIONES I III	CN PARA CONDICIÓN II	CN PARA CONDICIONES I III		
100	100	100	<b>60</b>	40	<b>78</b>
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
87	75	95	48	29	68
86	73	95	47	28	67
85	72	94	46	27	66
<b>84</b>	70	<b>94</b>	45	26	65
83	68	93	44	25	64
82	67	93	43	25	63
81	66	92	42	24	62
80	64	92	41	23	61
79	63	91	40	22	60
78	62	91	39	21	59
77	60	90	38	21	58
<b>76</b>	59	<b>89</b>	37	20	57
<b>75</b>	58	<b>89</b>	36	19	56
74	57	88	35	18	55
73	55	88	34	18	54
72	54	87	33	17	53
71	53	86	32	16	52
70	52	86	31	16	51
<b>69</b>	51	<b>85</b>	30	15	50
68	50	84			
67	48	84	25	12	43
66	47	83	20	9	37
65	46	82	15	6	30
64	45	82	10	4	22
63	44	81	5	2	13
62	43	80	0	0	0
61	42	79			

La interpretación y uso de la Tabla 3.7, muestra grupos de números de curvas de diseño para las condiciones de humedad antecedentes I, II y III. El procedimiento para estimar el número de curvas CN(I) y/o CN(III), bien sea el caso, será por extrapolación, partiendo del número de curva CN(II), de condición media de humedad, hacia la condición de humedad seleccionada como de diseño, I o III.

### 3.2.4 Método Ponderado de Escurrimiento

Este método se fundamenta en la aplicación de un promedio pesado con respecto al área total estudiada, y los valores de área parcial para cada uso de suelo, información administrada por el diseño de un mapa de uso de suelos en tiempo real (mapa satelital) de la zona en estudio. También se hace necesario incorporar el valor respectivo de coeficiente de escurrimiento parcial, según sea el uso de suelo asociado.

Para la estimación del coeficiente de escurrimiento promedio espacial para la zona en estudio, se aplica la Ecuación (3.13) establecida por Bolinaga, J. (1974), la cual se muestra a continuación:

$$\overline{C_e} = \frac{\sum C_{ei} \times a_i}{\text{Area Total}} \quad (0.13)$$

Dónde:

$\overline{C_e}$ : Coeficiente de escurrimiento promedio espacial en (%)

$C_{ei}$ : Coeficiente de escurrimiento parcial en (%) para cada superficie de uso de suelo de la zona de estudio

$a_i$ : Valor del área parcial en hectáreas (has.) presentes en la zona de estudio.

Área Total: Superficie total del área en estudio en hectáreas (has.)

Para estimar los coeficientes de escurrimiento parcial, según el uso de suelo, se aplicó la siguiente metodología:

- 1) Se tomó en consideración el valor de infiltración potencial (S) en milímetros para cada uso de suelo, que plantea el Método del Número de Curva (CN), del Soil Conservation de los Estados Unidos, por su eficiencia técnica de estimación.
- 2) Considerando el criterio hidrológico planteado por el asesor de la investigación de que la mayoría de pérdidas de agua en una zona determinada en nuestro país ocurren por infiltración [Lamina infiltrada (Linf)] fundamentalmente, mediante la utilización de una simple relación algebraica con respecto a la lámina de lluvia máxima de diseño, se estimó la lámina efectiva o de escurrimiento (Lefec) promedio espacial para cada uso de suelo, con la relación:  $L_{efec} = \text{Lluvia máxima de diseño} - L_{inf}$ .
- 3) Estimada la lámina de efectiva de escurrimiento para cada uso de suelo y cada año del período climatológico de lluvias máximas considerado, se estimó el coeficiente de escurrimiento promedio espacial para cada año y uso de suelo, mediante la Ecuación 3.8:

$$C_e = \frac{L_{efec}}{L_p} \quad (3.8)$$

Dónde:

$C_e$ : Coeficiente de escurrimiento promedio espacial anual en (%).

Lefec: Lámina efectiva de escurrimiento anual en (mm).

Lp: Lámina de lluvia máxima anual en (mm).

Luego de esto, finalmente se obtuvo un valor promedio espacial de coeficiente de escurrimiento para cada uso de suelo respectivamente.

- 4) Aplicando la Ecuación 3.13, se obtendrá el valor promedio espacial de coeficiente de escurrimiento generalizado, para toda la zona de estudio (El Sombrero, municipio Julián Mellado, estado Guárico).

### **3.3 Definición de términos básicos**

#### **3.3.1 Meteorología**

Es el estudio de los fenómenos atmosféricos en función del tiempo (Chow, V. 1964).

#### **3.3.2 Climatología**

Ciencia dedicada al estudio de los climas en relación a sus características, variaciones, distribución, tipos y posibles causas determinantes (Monsalve, V. 2000).

#### **3.3.3 Hidrología**

Es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo los seres vivos.

Aceptando su definición, es necesario limitar la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada, que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua (Guevara, E. y Cartaya, H. 1991).

### **3.3.4 Hidrografía**

Es la rama de la geografía física que estudia las aguas marítimas y terrestres en su aspecto físico, químico y biológico (Guevara, E. y Cartaya, H. 1991).

### **3.3.5 Hidrometeorología**

Es la combinación de dos ciencias como lo son la meteorología y la hidrología, cuyo objetivo es el estudio del agua en el planeta (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.6 Ciclo Hidrológico**

Es un modelo que permite explicar el movimiento, distribución, circulación y aquellos procesos mediante los cuales se transforma el agua que se encuentra en la tierra (sólido, líquido y gaseoso).

También puede visualizarse como el conjunto de los diferentes caminos a través de los cuales circula el agua y va a experimentar transformaciones. Estos caminos penetran las tres áreas del sistema terrestre total: atmósfera, hidrósfera y litósfera. La atmósfera es la envoltura gaseosa que hay sobre el globo, la hidrósfera constituida por

los cuerpos de agua que cubren la superficie de la tierra y la litosfera es la roca sólida que se encuentra bajo la hidrósfera.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin; y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hasta la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra para posteriormente evaporarse. De la precipitación que llega a la corriente una parte se infiltra, otra llega a los océanos y a otros grandes cuerpos de agua como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye hacia la superficie de la tierra hasta las corrientes, el mar u otros cuerpos de aguas, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o en mar (Monsalve, V. 1996).

### **3.3.7 Precipitación**

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua (Aparicio, F. 1992).

### 3.3.8 Mecanismo de la precipitación

Los mecanismos de la precipitación son un conjunto de acciones físicas y naturales, que actuando de manera combinada y/o por separado cumplen con el propósito o función de generar el fenómeno meteorológico de la precipitación o lluvia. (Monsalve, V. 2000).

Los mecanismos de la precipitación son tres fundamentalmente:

- **Condensación:** Cambio de estado físico de agua en estado de vapor ha estado líquido. Se desarrolla sobre núcleos sólidos que puede alcanzar un tamaño aproximado de 500 a 4000  $\mu$  (micrones).
- **Coalescencia:** Es el crecimiento de una gota de agua, debido al contacto con otras por colisión, es decir, las gotas de tamaño más grande van colisionando con las más pequeñas atrapándolas y aumentando así su tamaño. Una gota de agua crece aproximadamente hasta 7 mm, hasta romperse y repetirse el proceso.
- **Cristales de hielo:** Se producen a temperaturas aproximadas de 40°C bajo cero, formándose sobre núcleos sólidos o partículas como: minerales, arcillas materia orgánica y sales, que se encuentran suspendidas en la troposfera baja. Su principal característica es que, bajo esta condición de temperatura, la presión de vapor de agua, es mayor sobre las gotas de agua que sobre los cristales de hielo, por lo cual ocurre la condensación sobre el cristal de hielo.

### **3.3.9 Llovizna**

Son pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0,1 y 0,5 mm, las cuales tienen velocidades de caída tan bajas que ocasionalmente parece que estuviesen flotando. Por lo general, la llovizna cae de estratos bajos y muy rara vez sobrepasa un valor de 1 mm/hora (Aparicio, F. 1992).

### **3.3.10 Lluvia**

Son gotas de agua, en su mayoría con un diámetro mayor a 0,5 mm y se reporta en tres (3) intensidades (Aparicio, F. 1992):

Ligera: para tasas de caída hasta de 2,5 mm/h.

Moderada: desde 2,5 hasta 7,6 mm/h.

Fuerte: por encima de 7,6 mm/h.

### **3.3.11 Estación meteorológica**

Está constituida por un conjunto de instrumentos meteorológicos instalados a la intemperie, generalmente protegidos por una cerca metálica, y por otros instrumentos y equipos instalados dentro de una oficina (Gamboa, J. 2008).

### **3.3.12 Estación climatológica**

Conjunto de instrumentos colocados a la intemperie que permiten medir las variaciones del clima, ubicados en sitios estratégicos representativos de ambientes diversos (Gamboa, J. 2008).

### 3.3.13 Medición de la precipitación

Se ha desarrollado una gran variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de las diferentes fases de la precipitación. Los instrumentos para medir la cantidad y la intensidad de la precipitación son los más importantes. Los otros instrumentos incluyen aparatos para medir el tamaño y distribución de las gotas de agua y para establecer el tiempo de comienzo y fin de la precipitación. Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumula sobre una superficie a nivel si la precipitación permaneciese en el lugar donde cae. En el sistema métrico la precipitación se mide en milímetros y décimos de milímetros (Aparicio, F. 1992).

### 3.3.14 Pluviómetro

Es un instrumento medidor de la lluvia y está conformado por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal  $a$  al que descarga un embudo que capta el agua de lluvia y cuya área de captación  $A$  se acostumbra colocar en el embudo un par de mallas para evitar la entrada de basura u otros objetos. El área de captación  $A$  es normalmente diez veces mayor que el área del recipiente  $a$ , con el objeto de que, por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta de una décima de milímetro de lluvia, que corresponde a un milímetro depositado en el recipiente. Generalmente se acostumbra a tomar lectura de los pluviómetros diariamente a las 8 de la mañana. Cualquier recipiente abierto, cuyos lados sean verticales, puede utilizarse para medir la lluvia; sin embargo, debido a los efectos del viento y el salpicado, las mediciones no son comparables a menos que sean del mismo tamaño y forma, y estén expuestos de un modo similar. El pluviómetro estándar tiene un colector con un diámetro de 20 cm. La lluvia pasa del colector a un tubo cilíndrico medidor, que está situado dentro del

recipiente de vertido, el tubo medidor tiene un área transversal que es un décimo de aquella del colector, de tal manera que 1 mm de lluvia llenará el tubo en 1,0 cm. Con una regla graduada en mm, es posible estimar la lluvia con una precisión de 0,1 mm (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.15 Pluviógrafo**

Es un instrumento registrador de lluvias, mediante bandas de diferentes niveles de agregación de tiempo (diaria, semanal, mensual) y está conformado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especial. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca la altura de precipitación en el papel. El recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad se vacía automáticamente mediante un sifón (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.16 Medición de la lluvia mediante el uso del radar**

Un radar transmite un curso de energía electromagnética como un rayo en una dirección predeterminada por una antena móvil. El ancho y la forma del rayo se determinan por el tamaño y la configuración de la antena. La onda irradiada, que viaja a la velocidad de la luz, se refleja parcialmente por las nubes y por las partículas de precipitación y regresa al radar, donde es recibida por la misma antena. La energía retornada al radar se le denomina señal del blanco, la cantidad se denomina potencia de retorno y su aparición en la pantalla del radar se denomina eco. El brillo de un eco o la intensidad de éste, es una indicación de la magnitud de retorno, que a su vez es una medida de la reflectividad de radar de los hidrometeoros. La reflectividad de un grupo de hidrometeoros dependen factores tales como la distribución y el tamaño de las gotas, el número de partículas por unidad de volumen, el estado físico (sólido o

líquido), la forma de los elementos individuales, y el aspecto asimétrico de los elementos con respecto al radar. Por lo general, mientras más intensa sea la precipitación, mayor será la reflectividad. El intervalo del tiempo entre la emisión del pulso y su aparición en la pantalla del radar es una medida de la distancia, o rango, del blanco hasta el radar. La dirección del blanco desde el radar se determina por la orientación de la antena en el momento en que se registra la señal del primero. Tanto el rango como la dirección se muestran en sus propias perspectivas mediante la localización de los ecos en la pantalla del radar. La extensión espacial de la tormenta se puede obtener mediante la rotación de la antena. Moviendo la antena en un plano vertical, se obtiene información tanto de la estructura como de la altura de la precipitación. La pérdida de energía del radar, debido a su paso a través de la precipitación, se llama atenuación. Parte de esta pérdida resulta por difracción y parte por absorción. Mientras mayor sea la relación entre el diámetro de la lluvia y la longitud de onda, mayor será la atenuación. Para una partícula de un diámetro determinado, mientras menor sea la longitud de onda, mayor será la atenuación.

Por lo tanto, para longitudes de onda corta, la energía total puede verse gradualmente disminuida, o disipada en su totalidad, por una penetración relativamente corta a una tormenta. Se considera que las longitudes onda menores a 5 cm no son utilizables para medir la precipitación. Sin embargo, estas longitudes de ondas son de mucha utilidad para definir lluvias muy ligeras en distancias cortas, lloviznas y formaciones de nubes. En general se recomiendan longitudes de ondas de 10 cm o más para mediciones de precipitación (Aparicio, F. 1992).

### **3.3.17 Medición de la lluvia mediante el uso del satélite**

Los estudios del balance hídrico en una escala global requieren de información de precipitación en áreas donde las redes de pluviómetros son inadecuadas o

inexistentes, como por ejemplo los océanos. Se ha sugerido que la información obtenida de satélites meteorológicos puede ser utilizada para estimar cantidades de lluvia para un mes o mayores periodos de tiempo. El problema principal es los satélites no pueden medir las lluvias directamente y su cuantificación requiere la evaluación de un coeficiente de precipitación en base a la cantidad y tipo de nubosidad, la probabilidad de lluvia y la probabilidad de intensidad de lluvia asociada con cada tipo de nube. Estos factores están basados necesariamente en datos tomados sobre la superficie de la tierra y la aceptabilidad de este enfoque como tal para procesos de precipitación sobre el mar depende de que aquellos se parezcan en la tierra.

Se han realizado diferentes esfuerzos para estimar la precipitación para duraciones tanto cortas como largas, relacionando o calibrando las fotografías de los satélites como mediciones de radar, de tal modo que la relación o calibración se pueda aplicar posteriormente a las fotografías de satélites en regiones remotas para estimar la intensidad de la precipitación, su frecuencia y su cobertura.

Uno de los problemas mayores, es que las fotografías de satélite a menudo no revelan las nubes que producen precipitación, debido a que estas están cubiertas por otras capas de nubes. Los futuros desarrollos en instrumentación y técnicas, pueden llevar a obtener estimativos razonables de precipitación utilizando radiómetros de onda colocados en los satélites, que se puedan utilizar para calcular el contenido de agua líquida en las nubes, la cual pudiera ser una respuesta a la medición de la precipitación desde el espacio (Aparicio, F. 1992).

### **3.3.18 Intensidad de lluvia (I)**

Es la cantidad de agua precipitada, durante un tiempo determinado, es decir, representa una redacción directa proporcional a la lámina precipitada de una tormenta ocurrida, e inversamente proporcional al tiempo, por lo que se puede afirmar que, en menor tiempo de duración de la lluvia, mayor intensidad de lluvia sobre la zona de influencia (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.19 Intensidad de lluvia efectiva ( $I_{efec}$ )**

Es la intensidad de lluvia que se convierte en escurrimiento superficial, una vez que el suelo natural está saturado de humedad (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.20 Curva de masa**

Es la representación descriptiva de la lluvia acumulada en el tiempo, desde que se inició hasta que finaliza (Monsalve, V. 1996). Su graficación, como se muestra en la Figura 3.2, es posible a partir de los datos de lluvia registrada por el instrumento denominado Pluviógrafo.

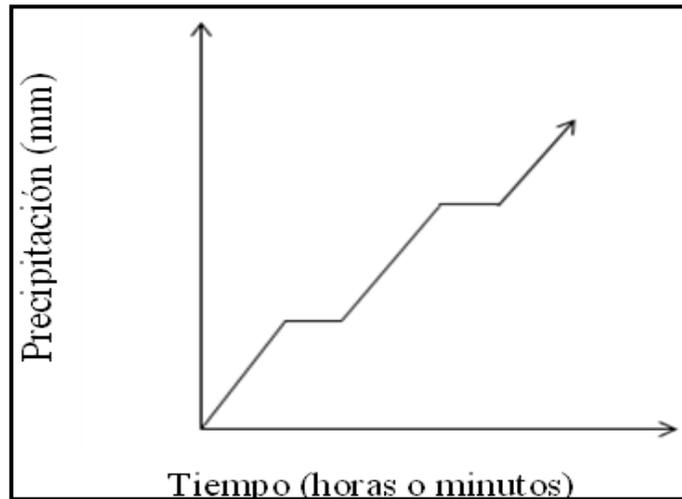


Figura 3.1 Curva de masa de precipitación.

### 3.3.21 Hietograma de lluvia

Es la representación discretizada de la lluvia en el tiempo, es decir, la tormenta estudiada se gráfica, como se muestra en la Figura 3.3, según su duración en intervalos simétricos y/o asimétrico de tiempo, mediante histogramas de frecuencia (Monsalve, V. 2000).

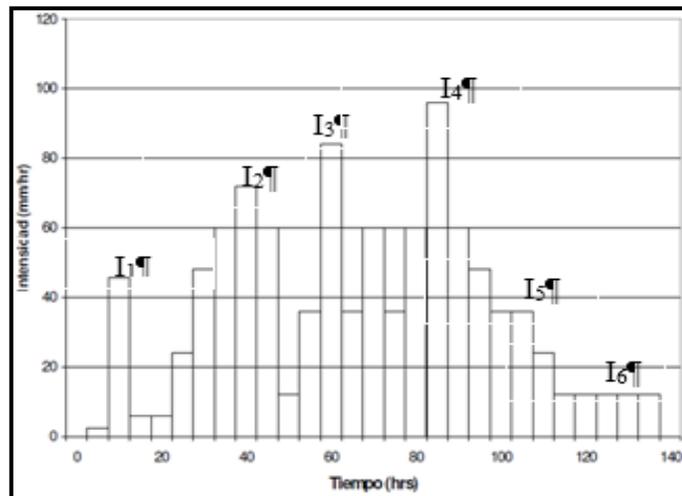


Figura 3.2 Hietograma de lluvia.

### **3.3.22 Escurrimiento superficial**

Es todo el flujo de agua que fluye sobre el terreno. Este tipo de escurrimiento llega más rápido a la salida de la cuenca, por ello está relacionado directamente con una tormenta particular, por lo que se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y constituye un escurrimiento directo (Aparicio, F. 1992).

### **3.3.23 Lámina escurrida**

Lámina de agua que escurre superficialmente sobre suelo natural saturado de humedad o pavimento (asfalto o concreto) y expresada en mm (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.24 Tipos de escurrimiento**

Superficiales: El que se manifiesta por encima del terreno natural, primariamente laminar hasta que luego se va concentrando en cauces, y sale finalmente de la cuenca. Se lo denomina rápido, por el tiempo es el primer escurrimiento que se manifiesta en la sección de control de la cuenca (Monsalve, V. 2000).

Sub-superficiales: Aquél que luego de infiltrada una determinada cantidad en el perfil del suelo, en la profundidad donde la humedad es aprovechable por las raíces, se manifiesta escurriendo en esa primera capa del suelo, y en algunos casos, vuelve a aparecer en superficie, sumándose al superficial. La cantidad depende de las características texturales del suelo. Se da preferentemente en zonas con subsuelos rocosos cubiertos por suelo más franco, y es en este sector donde se produce. El escurrimiento tiene una velocidad de conducción lenta (Monsalve, V. 2000).

Subterráneo: Es el escurrimiento que se da en las capas saturadas del suelo, ya sea en lo que se considera acuífero freático, como en los acuíferos cautivos o profundos. Los primeros aportan a los cauces del río, en especial en épocas de estiaje, drenando las capas subterráneas. Por el proceso que tiene el agua desde la precipitación, infiltración profunda a las napas, y de éstas al cauce, el escurrimiento es muy lento (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.25 Factores climáticos de escurrimiento**

Son aquéllos que regulan, la cantidad de agua precipitada, sobre una zona, los cuales pueden ser:

Forma de precipitación: Si la precipitación es en forma líquida, el escurrimiento se presenta con relativa rapidez; si es en forma sólida no hay ningún efecto, a menos que la temperatura permita la rápida licuefacción (Chow, V. 1964).

Intensidad de la precipitación: Cuando la precipitación es suficiente para exceder la capacidad de infiltración del suelo, se presenta el escurrimiento superficial y cualquier aumento en la intensidad repercute rápidamente en dicho escurrimiento (Chow, V. 1964).

Duración de la precipitación: Es el tiempo medido desde el inicio de la lluvia hasta el final de la misma. Una lluvia prolongada, aun cuando no sea muy intensa o de gran magnitud producirá cantidad de escurrimiento superficial, ya que la capacidad de infiltración decrece con el tiempo más rápidamente (Chow, V. 1964).

Distribución de la precipitación en el espacio: Generalmente la lluvia nunca abarca toda la superficie de la cuenca; para cuencas pequeñas, los mayores

escurrimientos superficiales resultan de tormentas que abarcan áreas pequeñas, y para cuencas grandes, resultan de aguaceros poco intensos que cubren una mayor superficie (Chow, V. 1964).

**Dirección del movimiento de la precipitación:** La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación tiene influencia en la lámina y duración del escurrimiento superficial. Si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca, el escurrimiento será mayor que si únicamente la atraviesa. Por otro lado, si el temporal avanza en sentido contrario al drenaje, el escurrimiento será más uniforme y moderado que si se mueve en el sentido de la corriente (Chow, V. 1964).

**Precipitación antecedente y humedad del suelo:** Cuando el suelo posee un alto contenido de humedad, la capacidad de infiltración es baja y se facilita el escurrimiento. B. Otras condiciones del clima. Además de la precipitación existen otros elementos que se deben tomar en cuenta, pues, aunque indirectamente, también afectan al escurrimiento; entre ellos la temperatura, el viento, la presión y la humedad relativa (Chow, V. 1964).

### **3.3.26 Factores fisiográficos de escurrimiento**

Están relacionados intrínsecamente con la morfometría de la zona estudiada y las características físicas del terreno y los cuales se resumen en:

- **Superficie:** La superficie de las cuencas hidrográficas está limitada por la divisoria topográfica, que determina el área de la cual se derive el escurrimiento superficial. Las cuencas pequeñas se comportan de manera distinta a las cuencas grandes en lo que se refiere al escurrimiento. No existe una extensión definida para diferenciar a las cuencas pequeñas de las grandes,

sin embargo, hay ciertas características que distinguen a unas de otras. Las cuencas pequeñas son más sensibles al uso del suelo y a las precipitaciones de gran intensidad que abarcan zonas de poca extensión. En las cuencas grandes es muy importante el efecto de almacenamiento en los cauces de las corrientes (Chow, V. 1964).

- Forma: Interviene principalmente en la manera como se presenta el volumen de agua escurrido a la salida de la cuenca. Generalmente los volúmenes escurridos en cuencas alargadas son más uniformes a lo largo del tiempo, en cambio, en cuencas compactas el agua tarda menos en llegar a la salida, en donde se concentra en un tiempo relativamente corto (Chow, V. 1964).
- Pendiente: La pendiente del terreno está relacionada con la infiltración, con el escurrimiento superficial, con la contribución del agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento (Chow, V. 1964).

Uso y cubierta del suelo: Cuando el terreno es virgen y está cubierto por vegetación, especialmente de bosques, contribuye a la estabilización de los regímenes de las corrientes; cuando es deforestada el agua corre rápidamente por la superficie.

Por otra parte, también son importantes las obras que se efectúan en los mismos cauces de las corrientes, por ejemplo, la construcción de una presa puede producir una sobreelevación del nivel del agua en el tramo anterior al embalse, esto genera un aumento en el nivel del cauce por el depósito de acarreo (azolve), lo cual influye aguas arriba de la corriente; además, afecta el perfil de las capas freáticas (Chow, V. 1964).

- Tipo de suelo: Se refiere a la capacidad de infiltración del suelo. Entre más poroso sea y menor contenido de material coloidal posea, tendrá una mayor capacidad de infiltración, lo cual retardará la aparición del escurrimiento superficial (Chow, V. 1964).
- Geología: Condiciona al escurrimiento en cuanto a la permeabilidad e impermeabilidad de las estructuras que forman el terreno. Cuando el terreno es permeable, el sistema fluvial, durante la época de estiaje, se encuentra bien abastecido por el escurrimiento subterráneo. Cuando el terreno es impermeable, el volumen de escurrimiento se concentra más pronto en el punto de desagüe y en la época de estiaje el nivel de la corriente disminuye considerablemente o bien desaparece (Chow, V. 1964).
- Topografía: A este respecto son importantes las ondulaciones del terreno y los límites superficiales de la cuenca hidrográfica. Las ondulaciones pueden ser la causa de la presencia de depresiones en donde se acumula el agua, disminuyendo la cantidad destinada al escurrimiento. En relación con la divisoria topográfica, puede ser que haya discrepancia entre ésta y la freática, de manera que parte del escurrimiento subterráneo contribuya al escurrimiento de la cuenca vecina atravesando el límite topográfico o bien que reciba parte del escurrimiento subterráneo de esa cuenca vecina (Chow, V. 1964).

### **3.3.27 Coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ )**

El coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y toma valores entre cero y uno, y varía apreciablemente entre una cuenca y otra, y de una tormenta a otra, debido a las condiciones de humedad iniciales. Sin embargo, es común tomar valores de ( $C_e$ ) representativos de

acuerdo con ciertas características de las cuencas como la vegetación, pendientes del terreno y uso de suelos (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.28 Infiltración**

Movimiento de agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de fuerzas gravitacionales y capilares (Aparicio, F. 1992).

### **3.3.29 Lámina infiltrada**

Cantidad de agua en (mm) que almacena un suelo natural hasta saturarse de humedad (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.30 Coeficiente de infiltración ( $C_{inf}$ )**

Es el cociente, expresado en tanto por ciento, de la infiltración respecto a la precipitación (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.31 Drenaje urbano**

Movimiento de flujo de agua, sobre pavimento de asfaltos y/o concreto (Monsalve, V. 2000).

### **3.3.32 Mapa de uso de suelos**

Indica el tipo de uso de suelo existente y predominante en cada lugar de la zona de estudio (Monsalve, V. 2000).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1 Tipo de Investigación**

En este capítulo se describe de una manera detallada los pasos y actividades desarrolladas durante el trabajo de investigación, con las que se pretende dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

Sabino, C. (1992), indica que los estudios descriptivos “radican en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos. Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes”.

Bajo esta condición, la investigación del presente trabajo de grado, es de carácter Descriptiva, porque comprendió el reconocimiento, análisis e interpretación de los aspectos más relevantes físico-naturales de las variables de estudio, propios de la zona de El Sombrero, municipio Julián Mellado, del estado Guárico.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

Debido a las características propias el trabajo de investigación, se presentan dos diseños: Documental y de Campo.

La investigación documental se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos escritos u orales uno de los ejemplos más típicos de esta investigación son las obras de historia.

La investigación documental de este trabajo de grado, se basó en la recopilación de información básica bibliográfica, cartográfica y de otra índole de la zona; como toda aquella procedente de estudios realizados con anterioridad y que técnicamente estén relacionados con la investigación en este trabajo de investigación.

La investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta (Santa, P. y Martins, F.2006).

La investigación de campo de este trabajo de grado, consistió en visitas de reconocimiento a la zona de estudio y en especial a la Estación Climatológica en El Sombrero, permitiendo de esta manera el logro de todos los objetivos planteados en la investigación.

### **4.3 Población de la investigación**

En este trabajo de grado, la población de la investigación es todo el recorte histórico de datos de la lluvia sobre la zona estudiada. Para el desarrollo de esta investigación se tomó como universo, toda el área comprendida y definida por el perímetro catastral de la zona de El Sombrero, y las lluvias históricas medidas en o muy cercas del área en estudio.

#### 4.4 Muestra de la investigación

En este caso específico la muestra es un subconjunto de la población, se resume en el área que define al poblado de El Sombrero y su record histórico de lluvias medidas en las zonas o cerca de ella.

#### 4.5 Etapas de la investigación

Para llevar a cabo la estimación del coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), se procedió a realizar un flujograma para representar la metodología de trabajo que se aplicó en la línea de investigación y la cual está conformada por un conjunto de etapas. La Figura 4.1, muestra el flujograma de actividades, que metodológicamente se desarrolló de manera ordenada y secuencial en la investigación.

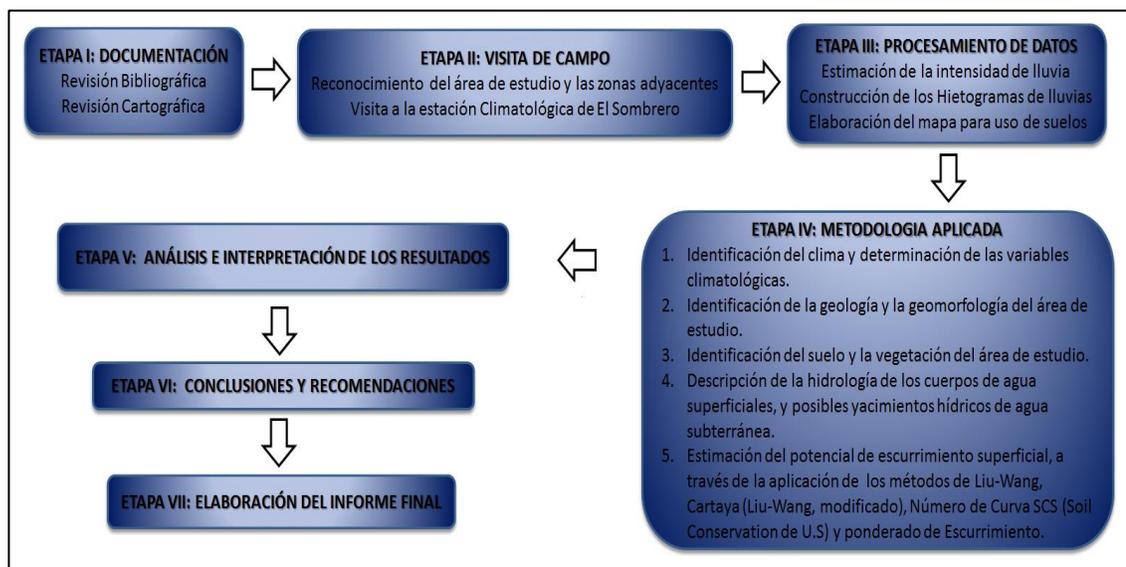


Figura 4.1 Flujograma de la investigación

#### **4.5.1 Etapa I. Documentación**

En esta actividad se recurrió a los organismos necesarios y competentes que pudieran estar relacionados con el tema de investigación, para obtener los datos e información necesaria que permitieron el buen desarrollo de la investigación planteada. Así como también consultas constantes en publicaciones de internet, libros, y tesis relacionadas con el tema, con la finalidad de obtener la mayor información que sirva de soporte para el desarrollo de los objetivos planteados.

#### **4.5.2 Etapa II. Visita de campo**

Para conocer e interactuar con el área de estudio y las zonas adyacentes, y así reconocer sus características físico-naturales, se realizó una visita de campo, en donde a su vez, se pudieron tomar una serie de fotografías que se muestran en el Apéndice A.

#### **4.5.3 Etapa III. Procesamiento de datos**

Se estimó la intensidad de lluvia máxima y se realizó la construcción de los hietogramas de lluvia posterior a la estimación de intensidades de lluvia de acuerdo al período considerado desde 1965-2000 (24 años), así como también se elaboró el mapa de uso de suelos.

#### **4.5.4 Etapa IV. Metodología aplicada**

##### **4.5.4.1 Identificación del clima y de sus variables climatológicas**

Con la información obtenida, a través del Mapa Climatológico de Venezuela, presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, 1985) (Apéndice B.1), se identificó el clima de la zona, determinando además las variables climatológicas mediante los datos de precipitación, temperatura, evaporación y viento proporcionados por la Estación Climatológica El Sombrero.

##### **4.5.4.2 Identificación de la geología y geomorfológica del área de estudio**

Empleando el Mapa Geológico de Venezuela, presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, 1985) (Apéndice B.2) y el Mapa Geomorfológico de Venezuela, presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, 1985) (Apéndice B.3), se pudo identificar la geología y geomorfología respectiva del área de estudio. Así como también, se usaron aportes técnico-científicos de diferentes autores y/o referencias bibliográficas, para ampliar la base documental en el desarrollo de este tema.

##### **4.5.4.3 Identificación del suelo y la vegetación del área de estudio**

Aplicando la información del Mapa de Suelos de Venezuela, presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, 1985) (Apéndice B.4) y el Mapa de Vegetación de Venezuela, presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela,

publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, 1985) (Apéndice B.5) se logró identificar el suelo y la vegetación predominante en El Sombrero.

#### **4.5.4.4 Identificación de la hidrología de los cuerpos de agua superficiales, y posibles yacimientos hídricos de agua subterránea**

La identificación de la hidrología de los cuerpos de agua superficiales de la zona de estudio, fue en base a su ubicación dentro del mapa de Cuencas Hidrológicas (Apéndice B.6); y los posibles yacimientos hídricos de agua subterránea, a través del Mapa Hidrogeológico de Venezuela, presentado por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos (MMH, 1972) (Apéndice B.7), Dirección de Geología – División de Hidrogeología.

#### **4.5.4.5 Estimación del potencial de escurrimiento superficial, a través de la aplicación de los métodos**

En la estimación de escurrimiento superficial, se utilizó información técnico-científica de diversos autores y/o referencias bibliográficas, para desarrollar la metodología aplicada en la resolución e interpretación de los cálculos obtenidos, a través de los métodos de Liu-Wang, Cartaya (Liu-Wang, modificado), Número de Curva SCS (Soil Conservation de U.S) y Ponderado de Escurrimiento, para la estimación del coeficiente de escurrimiento de El Sombrero.

#### **4.5.5 Etapa V. Análisis e interpretación de resultados**

Se analizaron e interpretaron los resultados de la identificación del clima y la determinación de las variables climatológicas; la identificación de la geología y la

geomorfología del área de estudio; la identificación del suelo y la vegetación del área de estudio; la descripción de la hidrología de los cuerpos de agua superficiales, y posibles yacimientos hídricos de agua subterránea; la estimación del potencial de escurrimiento superficial, a través de la aplicación de los métodos de Liu-Wang, Cartaya (Liu-Wang, modificado), Número de Curva SCS (Soil Conservation de U.S) y Ponderado de Escurrimiento.

#### **4.5.6 Etapa VI. Conclusiones y Recomendaciones**

Se establecieron las conclusiones obtenidas de la identificación del clima y la determinación de las variables climatológicas; la identificación de la geología y la geomorfología del área de estudio; la identificación del suelo y la vegetación del área de estudio; la descripción de la hidrología de los cuerpos de agua superficiales, y posibles yacimientos hídricos de agua subterránea; la estimación del potencial de escurrimiento superficial, a través de la aplicación de los métodos de Liu-Wang, Cartaya (Liu-Wang, modificado), Número de Curva SCS (Soil Conservation de U.S) y Ponderado de Escurrimiento y, de igual forma, las recomendaciones que sustentan la investigación para concluir con la elaboración del trabajo de grado.

#### **4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La caracterización físico-natural de El Sombrero, en el aspecto: climático, geológico, geomorfológico, suelos y vegetación, se utilizó e interpretó, la información técnica presentada en el “Atlas de la Vegetación de Venezuela. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR,1985)”.

La caracterización hidrológica de la zona de El Sombrero, fue interpretada mediante la utilización del “Mapa Hidrogeológico de Venezuela, editado por el

Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección Geología-División Hidrogeología (MMH, 1972)”.

#### 4.7 Mapas de uso de suelos

El mapa de uso de suelos, es la visualización en tiempo real de las superficies parciales de suelo con un propósito determinado, las cuales resumen el área total en estudio. En esta investigación, es una herramienta fundamental para el logro del objetivo planteado, como es la estimación del coeficiente de escurrimiento y de infiltración de la zona de El Sombrero.

El mapa de uso de suelo para la zona de estudio fue elaborado con el programa ArcMap versión 10.2.2, siendo una aplicación central utilizada en ArcGIS (Figura 4.2), nombre que se le da al conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. ArcMap es el lugar donde se visualiza y explora un conjunto de datos SIG de un área determinada para el estudio, donde se pueden asignar símbolos y se crean diversos diseños de mapa para imprimir o publicar.



Figura 4.2 Logo del Programa ArcGIS®. Aplicación ArcMap™.

ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Los elementos de mapa comunes son el marco de datos, que contiene las capas de mapa para una extensión determinada, más la barra de escala, la flecha de norte, el título, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, etc.

En esta investigación el mapa de uso de suelos de la zona de El Sombrero, fue interpretado y diseñado, mediante la información obtenida por el Satélite “Landsat 8” de observación terrestre estadounidense, lanzado el 11 de febrero de 2013, el cual es el octavo y más reciente satélite del proyecto Landsat, siendo operado por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration-NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desde 1972.

El satélite Landsat 8 transporta dos instrumentos OLI y TIRS, que corresponden a las siglas en inglés para Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS). El sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales que cubren el espectro desde los 0.433  $\mu\text{m}$  a los 1.390  $\mu\text{m}$ . TIRS está compuesto por dos bandas espectrales, las cuales detectan infrarojos térmicos, una herramienta imprescindible para medir la temperatura de la superficie de la Tierra.

La Tabla 4.1, muestra las diferentes bandas del espectro electromagnético que pueden evaluar los sensores OLI y TIRS.

Tabla 4.1 Características del Satélite Landsat 8 (Sensores OLI y TIRS).

Banda	Nombre	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)
1	Costera - Aerosoles	0.435 - 0.451	30
2	Azul	0.452 - 0.512	30
3	Verde	0.533 - 0.590	30
4	Rojo	0.636 - 0.673	30
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 - 0.879	30
6	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	1.566 - 1.651	30
10	(TIR 1)	10.60 - 11.19	100
11	(TIR 2)	11.50 - 12.51	100
7	Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2)	2.107 - 2.294	30
8	Pancromática	0.503 - 0.676	15
9	<i>Cirrus</i>	1.363 - 1.384	30

Las figuras 4.3, muestran al Satélite Landsat 8.

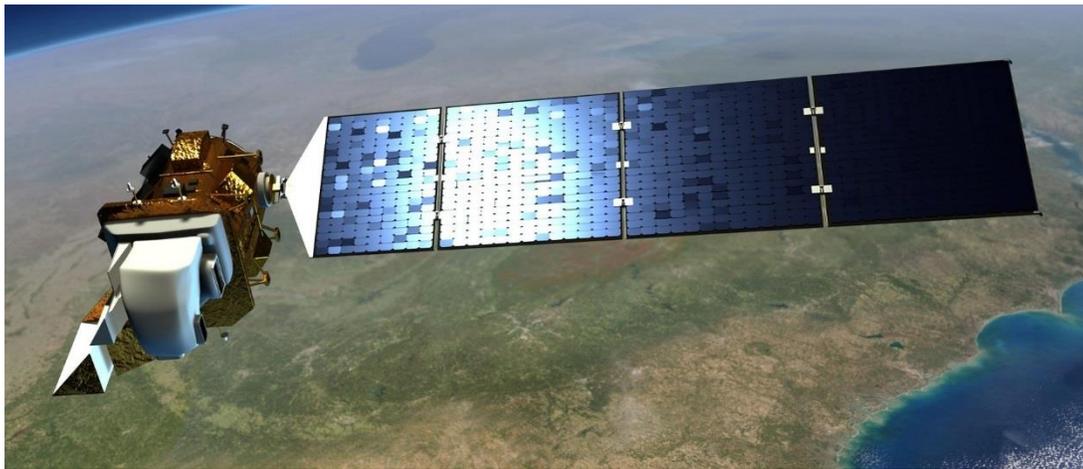


Figura 4.3 Vista espacial del satélite Landsat 8.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1 Identificación del clima y de las variables climatológicas del área de estudio**

Mediante la información obtenida a través del mapa climatológico de Venezuela, presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, publicado por el ministerio del ambiente y de los recursos naturales renovables (MARNR, 1985) (Apéndice B.1), el clima de la zona de El Sombrero se clasifica como: Clima Lluvioso Cálido de tipo A, Sub-tipo: Aw<sup>í</sup>, correspondiente a Sabanas (herbazales) y Bosques Tropófilos semi-secos, con un solo máximo de lluvia al año, con un total aproximado de 7 a 6 meses de lluvia.

Las variables meteorológicas utilizadas para identificar y caracterizar la climatología de la zona de estudio, fueron recolectadas por la Estación Climatológica El Sombrero, Serial: 2469, el cual fue instalada en Abril del año 1943 y es administrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), con sede en la ciudad de Caracas.

Ya revisadas las variables metrológicas provenientes de la Estación Climatológica El Sombrero, se encontraron las siguientes: Lluvia total mensual, cuyo período climatológico comprende desde 1943-2002 (59 años), Evaporación total mensual, período climatológico: 1953-1983 (30 años), Temperatura máxima media mensual, período: 1970-1983 (13 años), y Lluvias Máximas Anuales, para una duración de media hora (0.5), período: 1958-2001 (49 años).

### 5.1.1 Determinación de la precipitación media mensual

Para determinar la precipitación media mensual, se procedió a utilizar los datos procesados de la Estación Climatológica de El Sombrero, Municipio Julián Mellado, Estado Guárico (Apéndice C.1), cuyo período climatológico fue comprendido desde 1943-2002 (59).

La Tabla 5.1, resume los datos de precipitación total media mensual para el período considerado.

Tabla 5.1 Resumen estadístico de la precipitación media mensual en (mm). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1943-2002 (59 años).

PREC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>MAX (mm)</b>	21,6	55,3	34,2	194,4	370,2	431	627,5	331,9	841,2	360	198	195
<b>MED (mm)</b>	2,8	1,9	5,0	42,6	129	184,8	192,2	164,4	117,5	101,8	52,9	15,7
<b>MIN (mm)</b>	0,1	0,1	0,2	0,1	94	32,4	69,1	31,6	34,5	15,6	1,5	0,1

La Figura 5.1, describe la distribución temporal de la precipitación total media mensual para el período considerado.

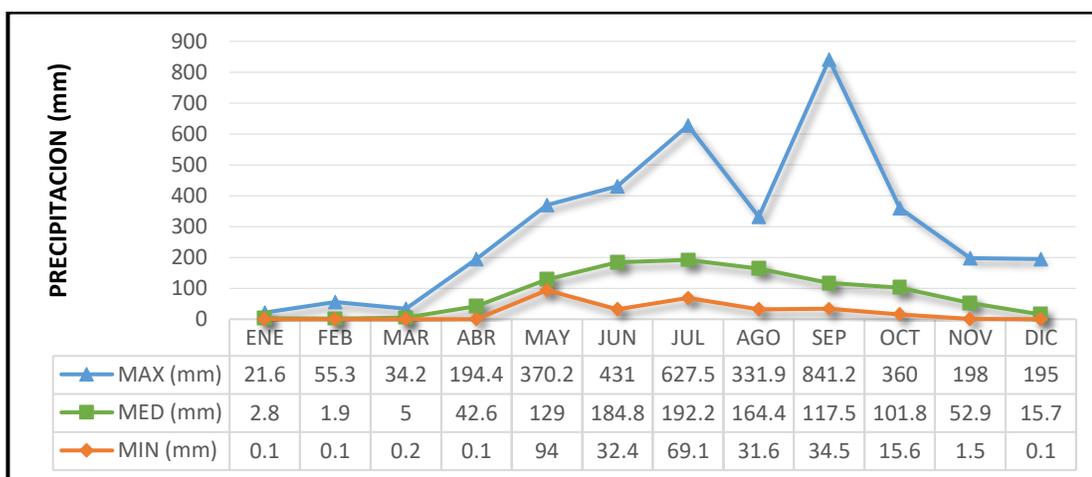


Figura 5.1 Distribución temporal de la lluvia media mensual en (mm). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1943-2002 (59 años).

De la distribución temporal de la lluvia media mensual, correspondiente al período climatológico: 1943-2002 (59 años), responde a un régimen de tipo unimodal, es decir, presenta un valor máximo de lluvia en el mes de septiembre promedio temporal de 841,2 mm; y un valor mínimo temporal de 0,1 mm, en los meses de enero, Febrero, Abril y Diciembre.

### 5.1.2 Determinación de la evaporación media mensual

Para determinar la evaporación media mensual, se procedió a utilizar los datos procesados de la Estación Climatológica de El Sombrero, municipio Julián Mellado, estado Guárico (Apéndice C.2), cuyo período climatológico fue comprendido desde 1953-1983 (30).

La Tabla 5.2, resume los datos de evaporación media mensual para el período considerado.

Tabla 5.2 Resumen estadístico de la evaporación media mensual en (mm). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1953-1983 (30 años).

EVAP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>MAX (mm)</b>	297,1	334,3	388,9	371,4	337,7	259,9	201,3	223	192,1	217,4	221,3	339,7
<b>MED (mm)</b>	248,9	265	321,3	279,4	206,5	155,2	152,6	147,5	154,7	168,7	171,5	216,1
<b>MIN (mm)</b>	189,1	165,5	155	165,4	132,5	100,1	94,3	92,4	126,5	122,5	104,7	144,7

La Figura 5.2, describe la distribución temporal de la evaporación total media mensual para el período considerado.

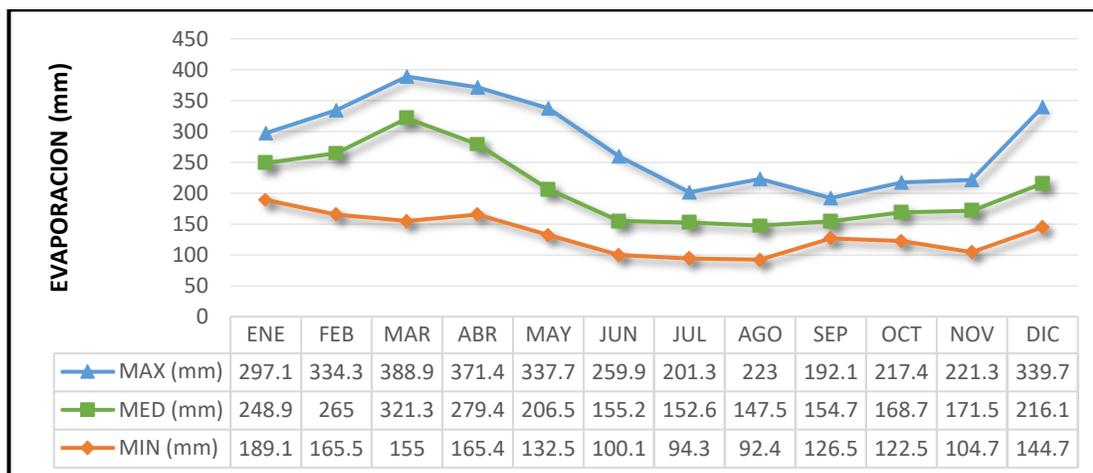


Figura 5.2 Distribución temporal de la evaporación media mensual en (mm). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1953-1983 (30 años).

De la distribución temporal de la evaporación media mensual, correspondiente al período climatológico: 1953-1983 (30 años), responde a un régimen de tipo unimodal, es decir, presenta un valor máximo de 388,9 mm para el mes de Marzo, y un valor mínimo temporal de 92,4 mm para el mes de Agosto.

### 5.1.3 Determinación de la temperatura media mensual

Para determinar la temperatura media mensual, se procedió a utilizar los datos procesados de la Estación Climatológica de El Sombrero, municipio Julián Mellado, estado Guárico (Apéndice C.3) (apéndice C4), cuyo período climatológico fue comprendido desde 1970-1982 (12).

La Tabla 5.3, resume los datos de la temperatura total media mensual para el período considerado.

Tabla 5.3 Resumen estadístico de la temperatura media mensual en (°C). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1970-1982 (12 años).

TEMP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MAX (°C)	35,9	35,8	36,2	36,3	36,7	35,3	33,4	34,4	34,5	35,6	35,6	35,2
MED (°C)	27,6	28,3	29,1	29,2	28,4	27,6	27,1	27,2	27,5	27,6	27,7	27,6
MIN (°C)	19,6	20,2	21,4	21,8	21,5	21,6	21,1	20,9	21,5	21,3	21,1	20,1

La Figura 5.3, describe la distribución temporal de la temperatura total media mensual para el período considerado.

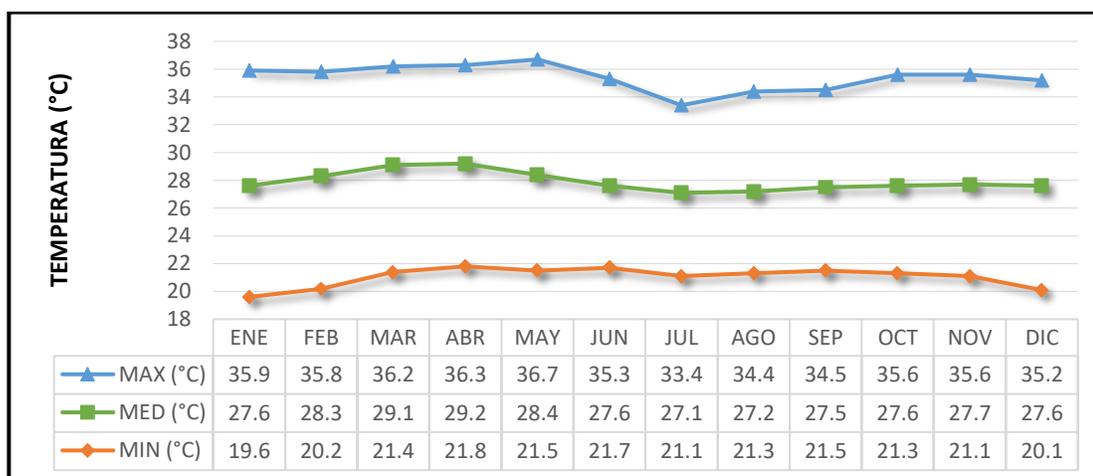


Figura 5.3 Distribución temporal de la temperatura media mensual en (°C). Estación: El Sombrero. Período climatológico: 1970-1982 (12 años).

De la distribución temporal de la temperatura media mensual, correspondiente al período climatológico: 1970-1982 (12 años), corresponde a un régimen de tipo unimodal, es decir, presenta un valor máximo de temperatura en el mes de Mayo de 36,7 °C; y un valor mínimo temporal de 19,6 °C para el mes de Enero.

## **5.2 Identificación de la geología del área de estudio**

De acuerdo a la información técnica-documental del Mapa Geológico de Venezuela, presentado en el Atlas de la Vegetación de Venezuela, publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, 1985) (Apéndice B.2) y la Tabla Cronoestratigráfica Internacional [Cohen, K., Finney, S., y Gibbard, P. (2015)] (Apéndice D.1), se reconoce que la geología de la zona en estudio El Sombrero, pertenece al Eón Fanerozoico, Era: Cenozoica, Período: Neógeno, Época: Oligoceno Tardío-Mioceno Medio, Piso Geológico: Chattiense – Serravalliense, y Edad: 28.1 a 13.82 millones de años.

### **5.2.1 Evolución histórica**

En el subsuelo de Guárico, la unidad que marca el comienzo del ciclo transgresivo del terciario superior es la formación la pascua, la cual fue sedimentada sobre un basamento de rocas cretácicas peniplanadas (cuasi planas), la transgresión continua durante el oligoceno donde se acumula sobre ella una secuencia de lutitas marinas, conocida como formación Roblecito; durante el Mioceno comenzó la regresión con desarrollos de ambientes someros que caracterizan a la Formación Chaguaramas. Hacia el norte se desarrollaron facies más arenosas que se reconocen en la formación Quebradón.

La evolución de la historia geológica de El Sombrero, se empieza a desarrollar a finales del Oligoceno superior e inicios del Mioceno, siendo estos periodos, parte de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional de Estratigrafía, en la cual comienza la evolución de la Formación Chaguaramas donde se ubica El Sombrero, capital del municipio Julián Mellado, del estado Guárico.

### **5.2.2 Geología local**

La Geología de El Sombrero está fijada en La Formación Chaguaramas, la cual suprayace en contacto inferior concordante y transicional, sobre la Formación Roblecito, perteneciente al Oligoceno tardío – Mioceno medio. Patterson et al. (1953), en L.E.V (2005), describieron la formación como una secuencia de arenisca-lutita-lignitos, por lo cual, la litología de la Formación Chaguaramas, consiste de una alternancia de areniscas, lutitas y lignitos de agua salobre, con desarrollos locales de arcillas de agua fresca y conglomerados de guijarros arcillosos (Brown 1956, en L.E.V. 2005). La Formación Chaguaramas corresponde al período regresivo que ocurre después de la depositación de la Formación Roblecito.

Son terrenos Miocenos los que sirven de base a El Sombrero. A partir del Oligoceno y en el Mioceno inferior se efectuaron incursiones marinas en esta región. En el Mioceno medio cambiaron las condiciones de sedimentación y aparece una fase más micácea que presenta características cenagosas. Los niveles de arena asociados a la parte media del río Guárico y ubicados al norte de El Sombrero configuran una de las principales reservas de áridos principales del estado. Los depósitos constituyen meandros abandonados, terrazas laterales y barras de depositación.

### **5.2.3 Formación Chaguaramas o Quiamare**

La definición de la Formación Chaguaramas o Quiamare, es una unidad arenosa comprendida entre dos unidades lutíticas: La Formación Roblecito infrayacente y la Formación Freites suprayacente, se debe a los estudios del subsuelo del estado Guárico por Patterson y Wilson (1953, p, 2722). La Formación Chaguaramas es una alternancia irregular de arenas, lutitas, lignitos con arcillas y conglomerados de guijarros arcillosos.



### **5.3 Identificación de la geomorfología del área de estudio**

Mediante la información obtenida a través del Mapa Geomorfológico de Venezuela, presentado en el “Atlas de la Vegetación de Venezuela” publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR-1985) (Apéndice B.3) el cual describe que la geomorfología de la zona en estudio se caracteriza fundamentalmente por la unidad de Valles Aluviales, cuyo pendiente promedio espacial oscila entre 0 a 3%.

En la zona de El Sombrero, existe un estado avanzado de erosión lo cual permite el desarrollo de Valles Aluviales de fondo plano y amplio, entre los cuales divaga el curso de agua. La erosión producida en la zona también desarrolla un ambiente de Planicies Aluviales, formadas en gran parte por meandros, depósitos de sedimentos y cauces divagantes.

### **5.4 Identificación de suelos del área de estudio**

Se interpretó mediante la información técnica-documental del Mapa de Suelos de Venezuela, presentado en el “Atlas de la Vegetación de Venezuela” publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR-1985) (Apéndice B.4), el cual describe que los Suelos de El Sombrero corresponden a suelos muy recientes, usualmente de aluviones de ríos o eólicos, con textura variable. Este tipo de suelos se ubica en el Orden: ENTISOL, que son suelos muy recientes, usualmente de aluviones de ríos o eólicos y no muestran ningún desarrollo definido de perfiles; Sub-Orden: FLUVENTS, suelos de planicies aluviales de textura media a fina con un drenaje medianamente buena. Desde el punto de vista granulométrico, son suelos fundamentalmente arenosos con trazas de arcilla, cuya clasificación potencialmente corresponde a suelos arenarcillofrancosos (aAF), con un Moderado Bajo Potencial de Ecurrimiento [(Suelo Tipo B), es decir, Medianamente Bajo

Potencial de Escurrimiento], pudiendo ubicarse potencialmente el valor de coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) a estimar, en el siguiente rango: ( $25\% < C_e < 50\%$ ).

### **5.5 Identificación de la vegetación del área de estudio**

De acuerdo a la información técnica-documental del Mapa de Vegetación de Venezuela, presentado en el “Atlas de la Vegetación de Venezuela” publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR-1985) (Apéndice B.5), describe que la vegetación de El Sombrero corresponde a ecosistema típico de Sabanas arbustivas gramíneas, con Bosques de Galería, y Tierras agropecuarias.

El desarrollo de la vegetación en la zona de El Sombrero depende principalmente de los factores ambientales determinantes como el clima, los suelos y el relieve de los llanos formados por arbustos y caracterizada por ser una cubierta herbácea (hierbas) compuesta fundamentalmente por gramíneas.

### **5.6 Identificación de la hidrología del área de estudio**

El comportamiento hidrológico e hidrográfico, en el área de El Sombrero y su periferia, dependen fundamentalmente de las características propias endógenas: Climáticas, Geológicas, Geomorfológicas, Suelos y de la Vegetación, las cuales forman parte del complejo ciclo hidrológico de la zona; razón por la cual se establece únicamente una breve descripción de la misma. Según el Mapa de las Cuencas Hidrográficas de Venezuela (Apéndice B.6), El Sombrero esta insertada geográficamente en la Cuenca Hidrográfica del Río Orinoco, la cual reviste las siguientes características: es la de mayor extensión superficial en el país, siendo su área aproximada de 990.000 Km<sup>2</sup>. Tiene un volumen promedio escurrido de 1.070.000 m<sup>3</sup> anuales proveniente de los ríos: Ventuari, Cuchivero, Caura y Caroní

(por su margen derecho), y de los ríos llaneros como el Apure, el Arauca, el portuguesa y el Guárico (por su margen izquierdo). El río más importante y cercano a la zona de El Sombrero, es el río Guárico, de régimen permanente, y patrón de drenaje dendrítico-subparalelo.

La hidrogeología presente en la zona de El Sombrero, según el Mapa de las Provincias Hidrogeológicas de Venezuela (Apéndice B.7), se encuentra ubicada en la Provincia Hidrogeológica de los Llanos., siendo la caracterización hidrogeológica, según el Mapa Hidrogeológico de Venezuela, de una geología promedio espacial de Rellenos Pleistocénicos (Terrazas, etc.), de rocas clásticas consolidadas y no consolidadas, con acuíferos con material poroso saturado fundamentalmente arenoso, de permeabilidad media a alta, y frecuentemente de alto rendimiento. (Apéndice B.8).

## 5.7 Estimación del Coeficiente de Esguerrimiento superficial (Ce)

### 5.7.1 Método de Liu-Wang

La tabla 5.4 Muestra los datos de Lluvias Máximas Anuales, de la estación climatológica de El Sombrero, ubicada en las inmediaciones del poblado de El Sombrero-estado Guárico.

Tabla 5.4 Valores de Lluvia Máxima en (mm). Duración 0,5 horas, Estación climatológica El Sombrero, período climatológico: 1965-2000 (24 años).

<b>Año</b>	<b>Pmáx (mm)</b>	<b>Año</b>	<b>Pmáx (mm)</b>
1965	25,1	1977	32,8
1966	28,7	1978	43,2
1967	31,5	1979	27,0
1968	29,7	1980	55,8
1969	63,6	1981	25,1
1970	49,1	1990	15,4

1971	41,8	1995	27,8
1972	32,8	1996	37,6
1973	60,4	1997	32,6
1974	19,1	1998	38,6
1975	32,4	1999	28,7
1976	57,5	2000	21,1

De la selección de los valores Máximos de Lluvia en (mm) para cada año del período, se procedió a determinar el valor de intensidad máxima de lluvia mediante la siguiente relación.

$$I_{max} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{t}$$

Dónde:

$I_{m\acute{a}x}$ : Intensidad máxima (mm/h).

$P_{m\acute{a}x}$ : Precipitación máxima (mm).

$t$ : Tiempo en (horas).

La Tabla 5.5, resume los valores de lluvia e intensidades máximas para la estación climatológica El Sombrero-Guárico.

Tabla 5.5 Valores de lluvia e intensidad máxima estación climatológica: El Sombrero, Período climatológico: 1965-2000 (24 años).

<b>Año</b>	<b>P<sub>máx</sub> (mm)</b>	<b>t (horas)</b>	<b>I<sub>máx</sub> (mm/h)</b>
1965	25,2	0,5	50,4
1966	28,7	0,5	57,4
1967	31,5	0,5	63,0
1968	29,7	0,5	59,4
1969	63,6	0,5	127,2
1970	49,1	0,5	98,2
1971	41,8	0,5	83,6
1972	32,8	0,5	65,6

Continuación de la Tabla 5.5

<b>Año</b>	<b>Pmáx (mm)</b>	<b>t (horas)</b>	<b>Imáx (mm/h)</b>
1973	60,4	0,5	120,8
1974	19,1	0,5	38,2
1975	32,4	0,5	64,8
1976	57,5	0,5	115
1977	32,8	0,5	65,6
1978	43,2	0,5	86,4
1979	27,0	0,5	54,0
1980	55,8	0,5	111,6
1981	25,1	0,5	50,2
1990	15,4	0,5	30,8
1995	27,8	0,5	55,6
1996	37,6	0,5	75,2
1997	32,6	0,5	65,2
1998	38,6	0,5	77,2
1999	28,7	0,5	57,4
2000	21,1	0,5	42,2

Como resultado del análisis e interpretación del período de lluvia media mensual sobre la zona en estudio, y el valor de lluvia máxima anual, se consideró que para una eficiente aplicación del Método de Liu-Wang, se tomó la Condición de Humedad Antecedente del Suelo: Húmedo (saturado), y a su vez la condición del terreno que es un suelo Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso; el cual permitirá potencialmente obtener un valor óptimo estimado de coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), más cerca de la realidad.

La Tabla 5.6, resume los valores de diseño del método de Liu y Wang aplicados para El Sombrero.

Tabla 5.6 Valores de Diseño del Método de Liu-Wang. El Sombrero, Estado Guárico.

Descripción de las condiciones del terreno	Condiciones de humedad del suelo					
	Húmedo		Medio		Seco	
	A	b	a	b	a	B
Perfil delgado arcilloso	0,83	0,56	0,93	0,63	1,00	0,68
Arcilloso, arenoso, vegetación pobre, montañas rocosas y regiones con perfiles delgados	0,93	0,63	1,02	0,69	1,08	0,75
Limosos, vegetación pobre, regiones con colinas, perfil grueso pastos	0,98	0,66	1,10	0,76	1,16	0,81
Limosos y con vegetación densa de forestales	1,10	0,76	1,18	0,83	1,22	0,87
<b>Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso</b>	<b>1,22</b>	<b>0,87</b>	1,25	0,90	1,27	0,92

Los valores de diseño de los parámetros (a) y (b), que califica para la descripción de la condición del terreno (zona de estudio), permitirá la estimación del coeficiente de escurrimiento para la zona en estudio.

La Tabla 5.7, resume los valores de diseño del índice de pérdidas ( $\Phi$ ), del método de Liu-Wang, para la condición de humedad del suelo: húmedo (saturado), y para la descripción de las condiciones de terreno: Perfil delgado arcilloso.

Tabla 5.7 Valores de diseño del índice de pérdidas ( $\Phi$ ), del método de Liu-Wang, para la condición de humedad del suelo: Húmedo, y para la descripción de las condiciones de terreno: Suelos arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

Año	Imáx (mm/h)	(a)	(b)	$\Phi$ (mm/h)
1965	50,4	1,22	0,87	36,94
1966	57,4			41,36
1967	63,0			44,85
1968	59,4			42,61
1969	127,2			82,65
1970	98,2			65,99
1971	83,6			57,37
1972	65,6			46,46

Continuación de la Tabla 5.7

<b>Año</b>	<b>Imáx (mm/h)</b>	<b>(a)</b>	<b>(b)</b>	<b><math>\Phi</math> (mm/h)</b>
1973	120,8	1,22	0,87	79,02
1974	38,2			29,02
1975	64,8			45,97
1976	115			75,71
1977	65,6			46,46
1978	86,4			59,04
1979	54,0			39,22
1980	111,6			73,76
1981	50,2			36,81
1990	30,8			24,07
1995	55,6			40,23
1996	75,2			52,32
1997	65,2			46,21
1998	77,2			53,53
1999	57,4			41,36
2000	42,2			31,65

Desde la figura 5.5 hasta el 5.28, describen los hietogramas de lluvia para cada tormenta de diseño, cuyo período climatológico fue desde el año : 1965-2000 (24 años), al considerar la condición de humedad antecedente del suelo: Húmedo (saturado de humedad), y la descripción de las condiciones de terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso; así como también la determinación de Intensidad Efectiva de lluvia ( $I_{efec}$ ), debido a la diferencia matemática entre la intensidad máxima de lluvia ( $I_{máx}$ ) y el índice de Pérdidas en la zona ( $\Phi$ ).

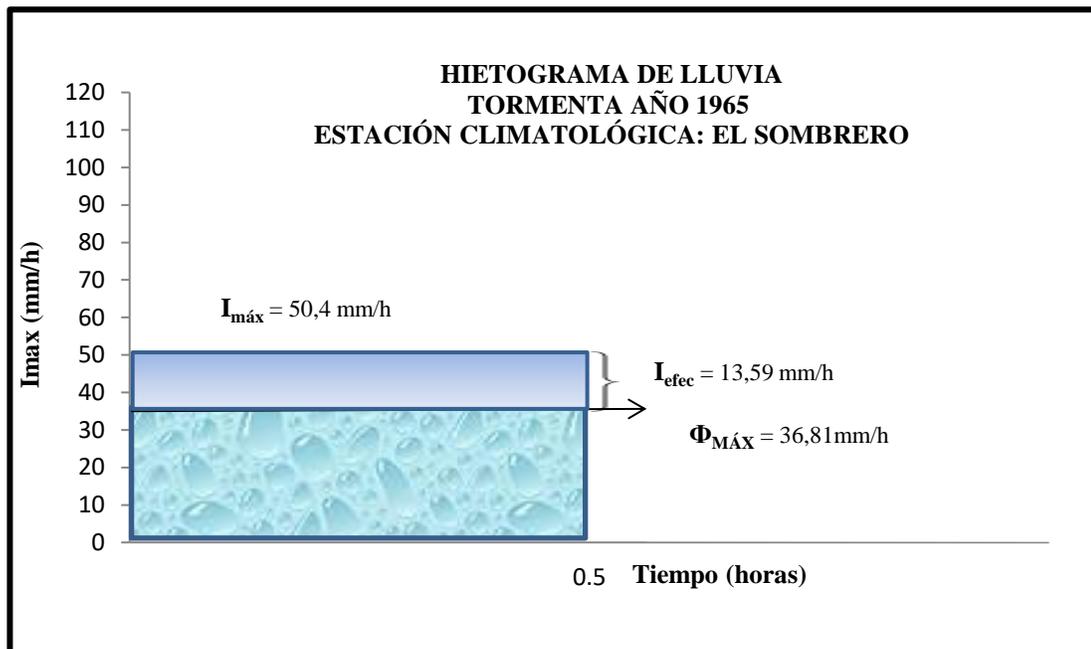


Figura 5.5 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1965. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

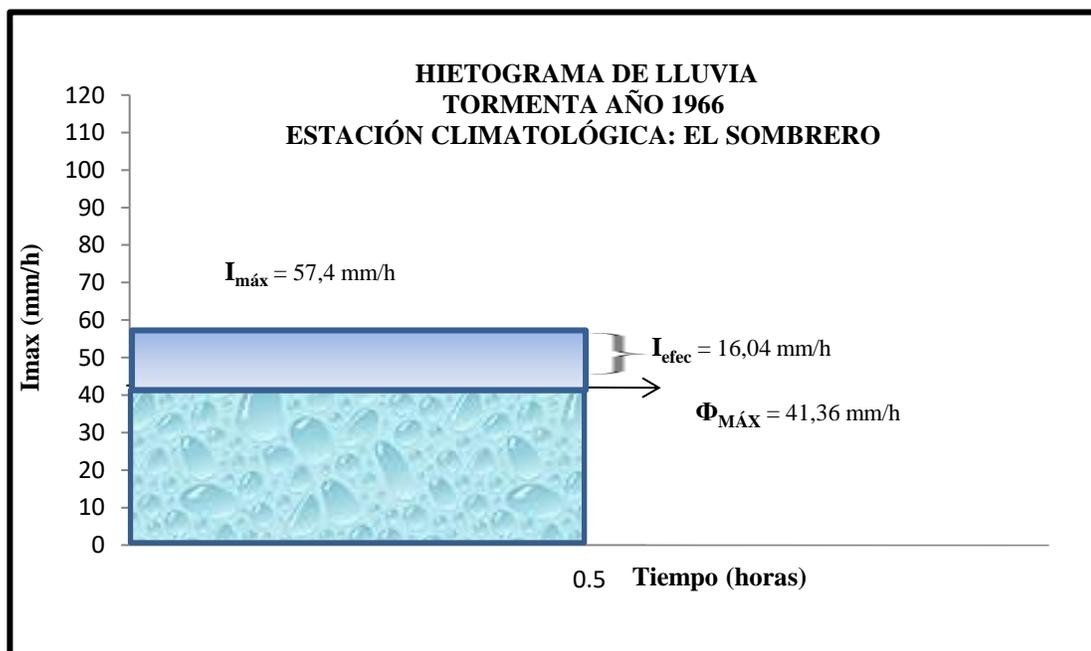


Figura 5.6 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1966. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

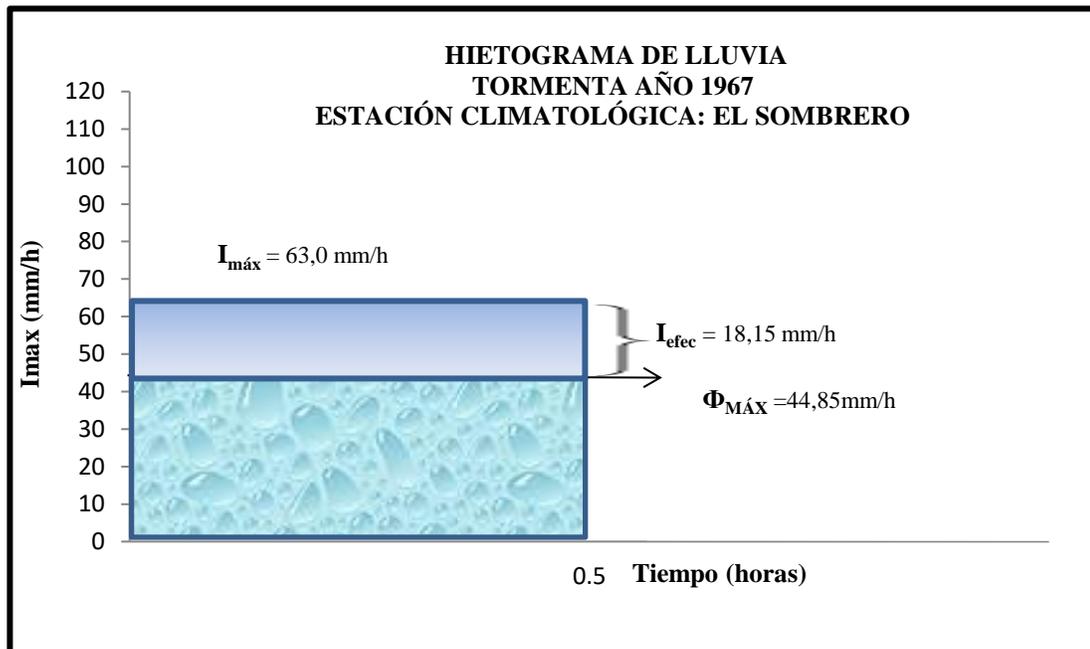


Figura 5.7 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1967. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

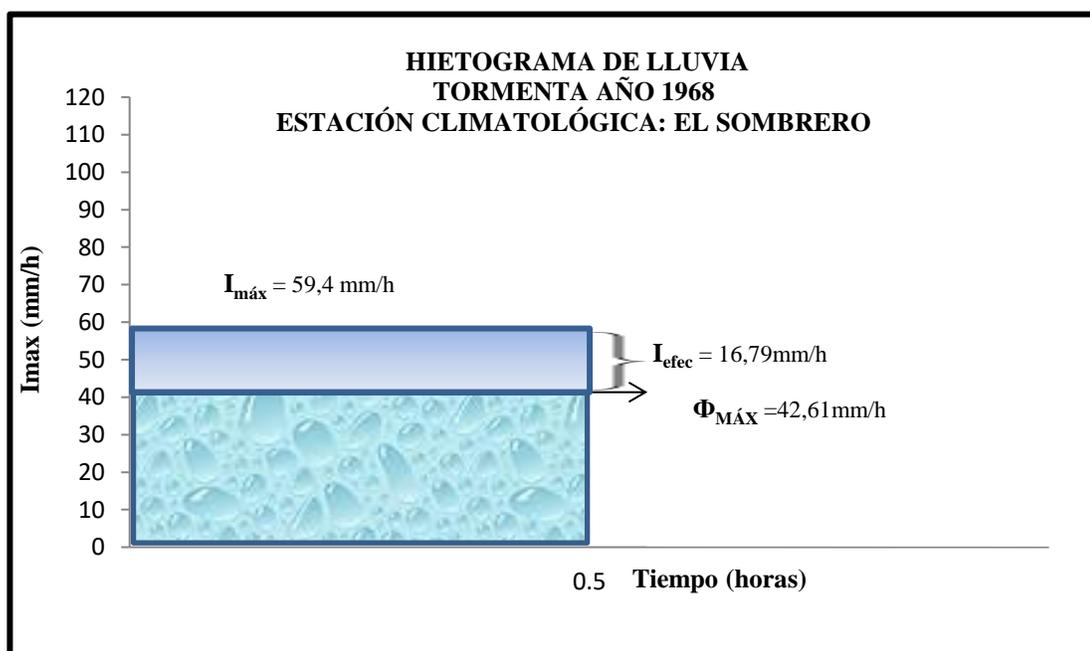


Figura 5.8 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1968. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

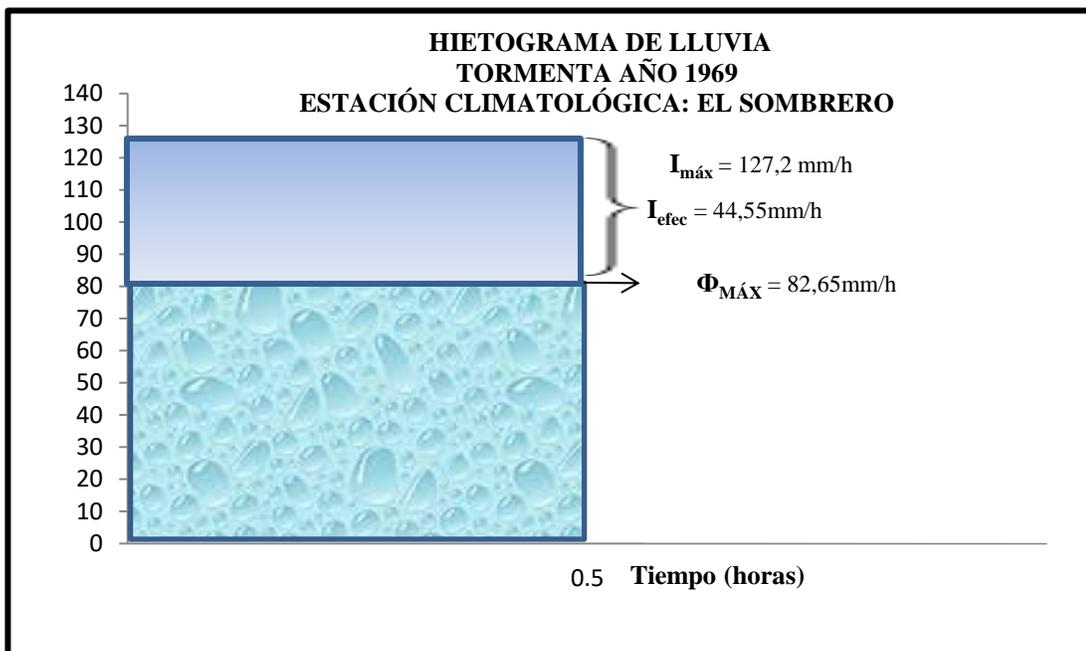


Figura 5.9 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1969. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

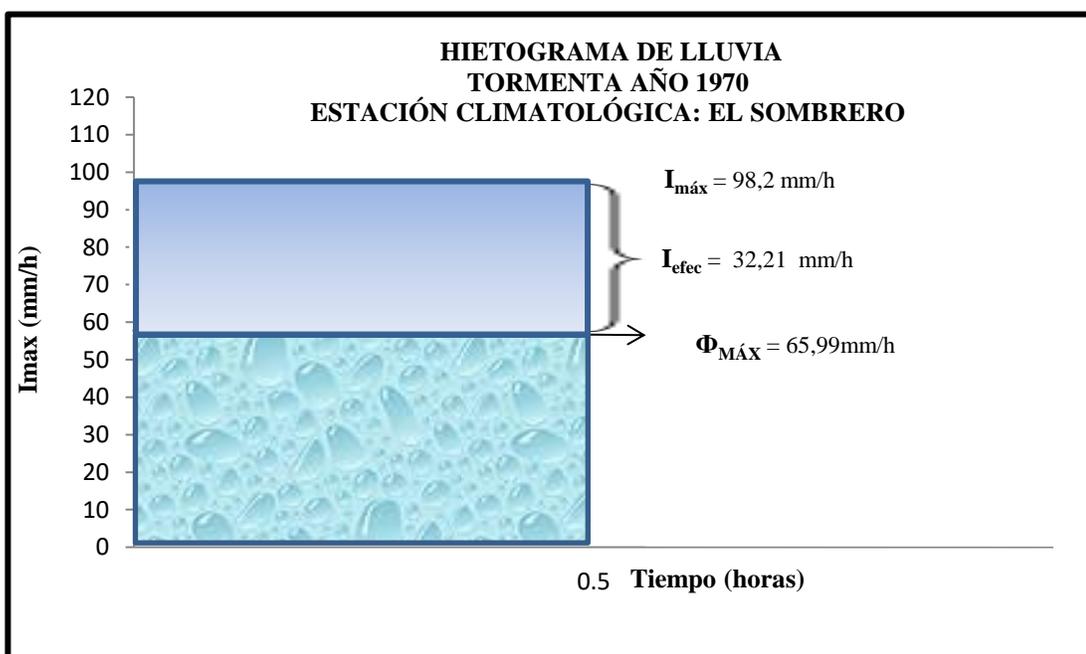


Figura 5.10 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1970. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

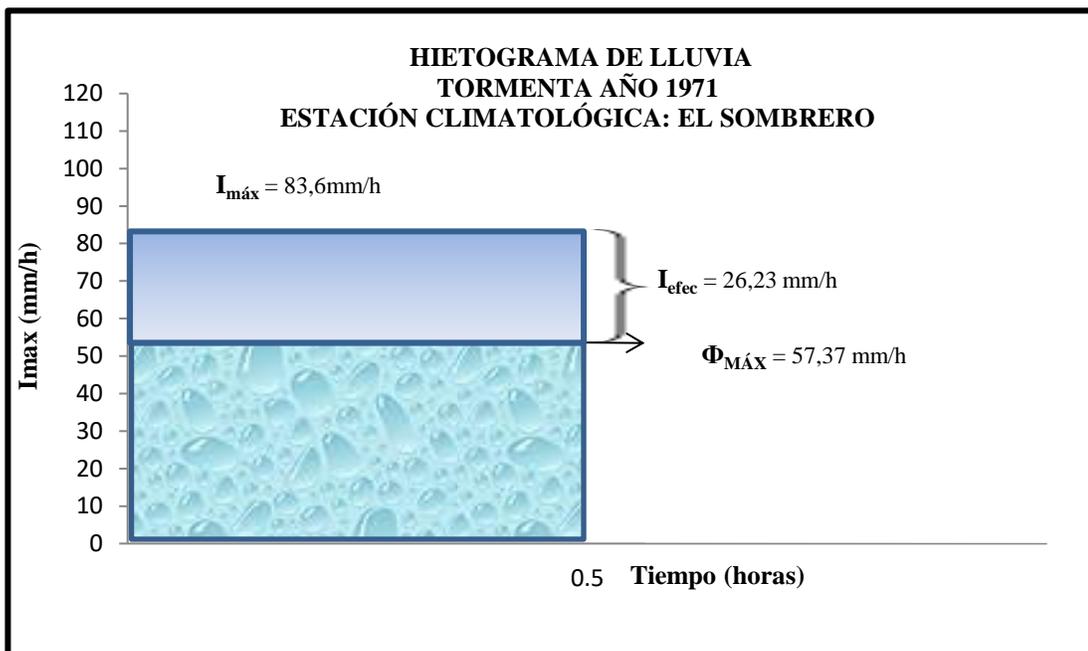


Figura 5.11 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1971. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

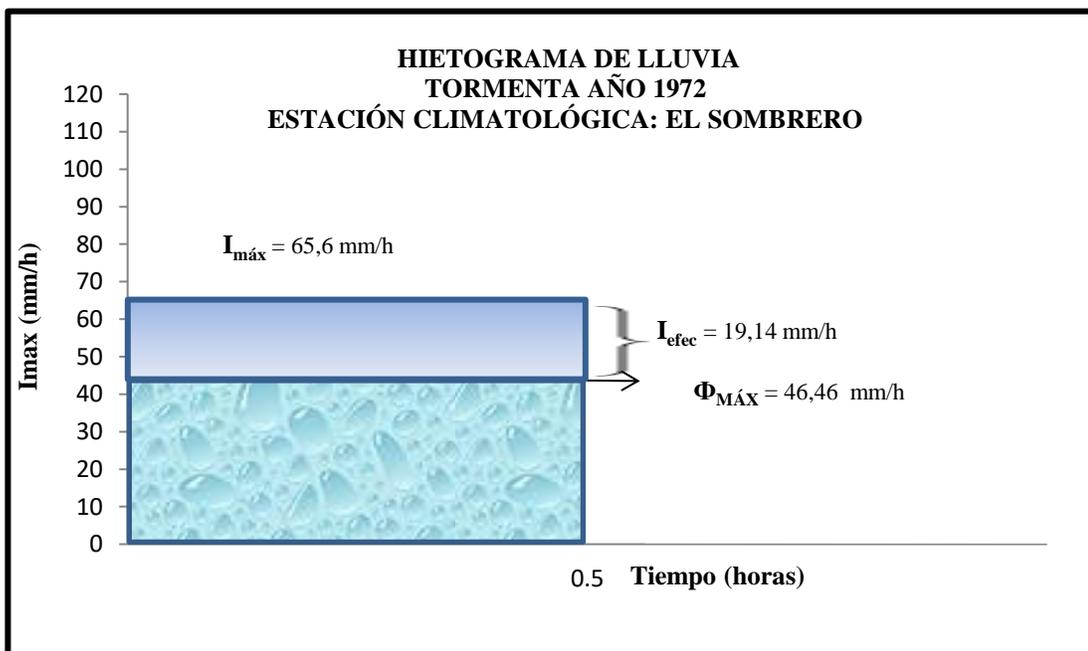


Figura 5.12 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1972. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

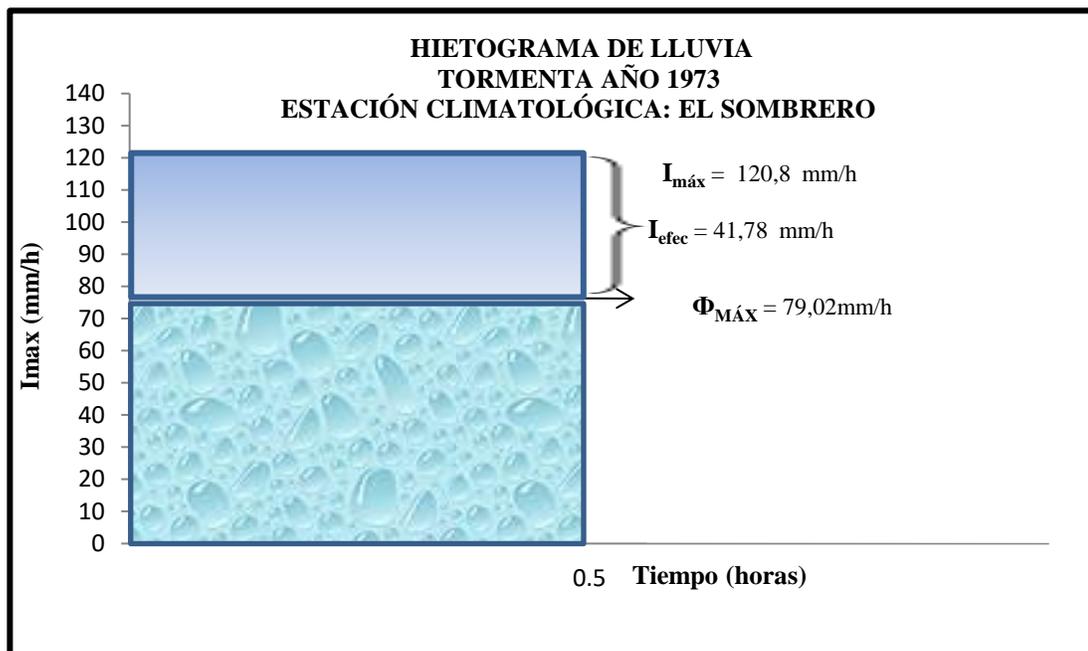


Figura 5.13 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1973. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

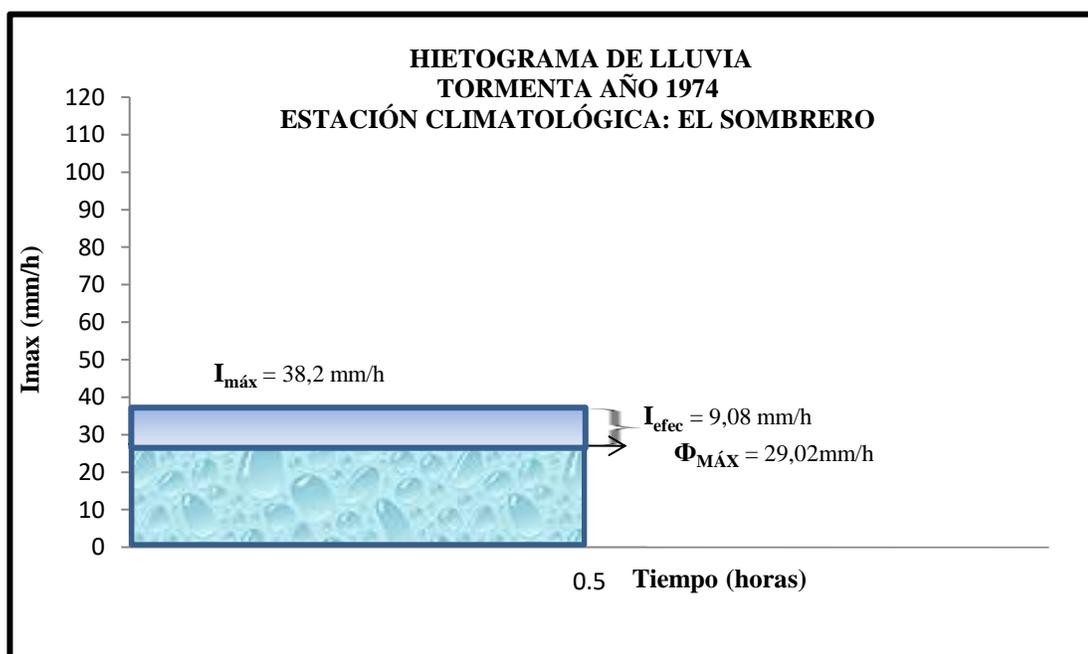


Figura 5.14 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1974. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

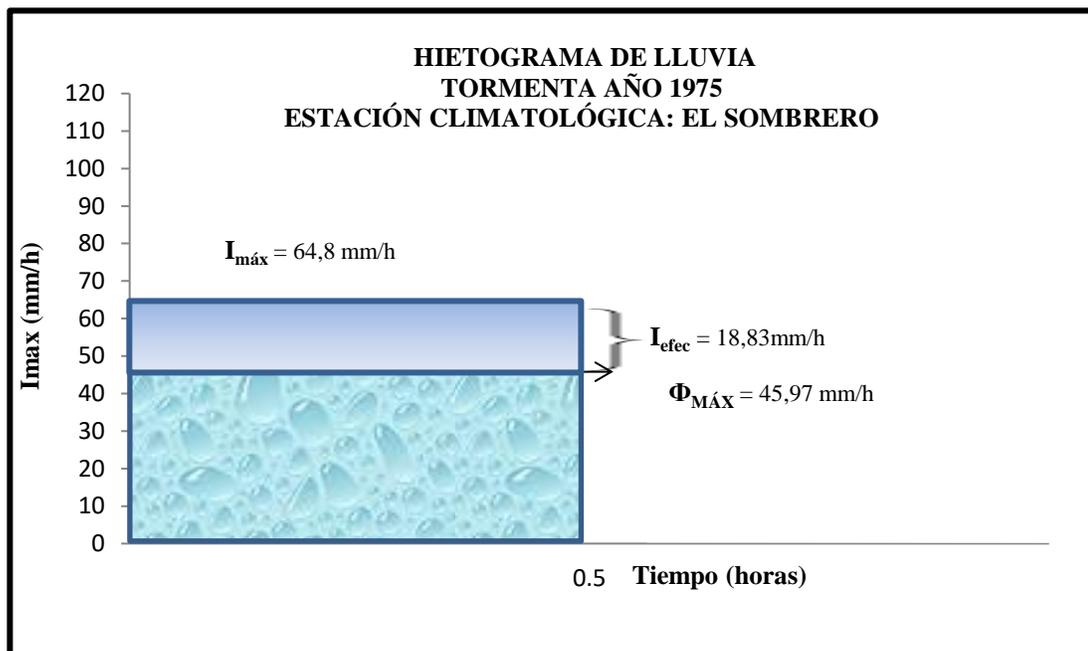


Figura 5.15 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1975. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

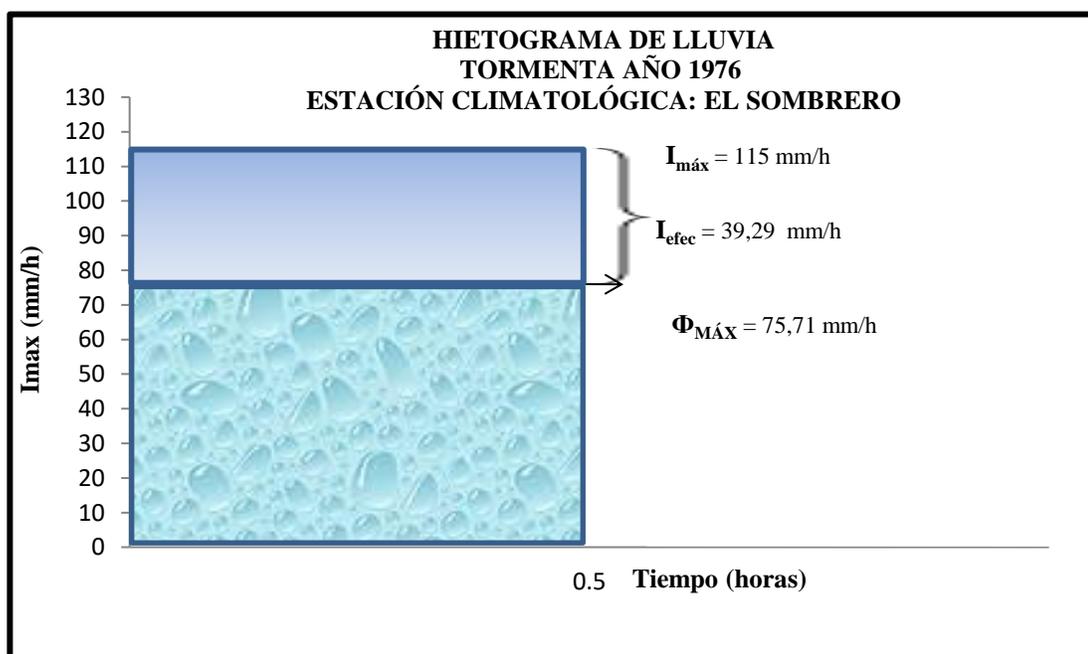


Figura 5.16 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1976. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

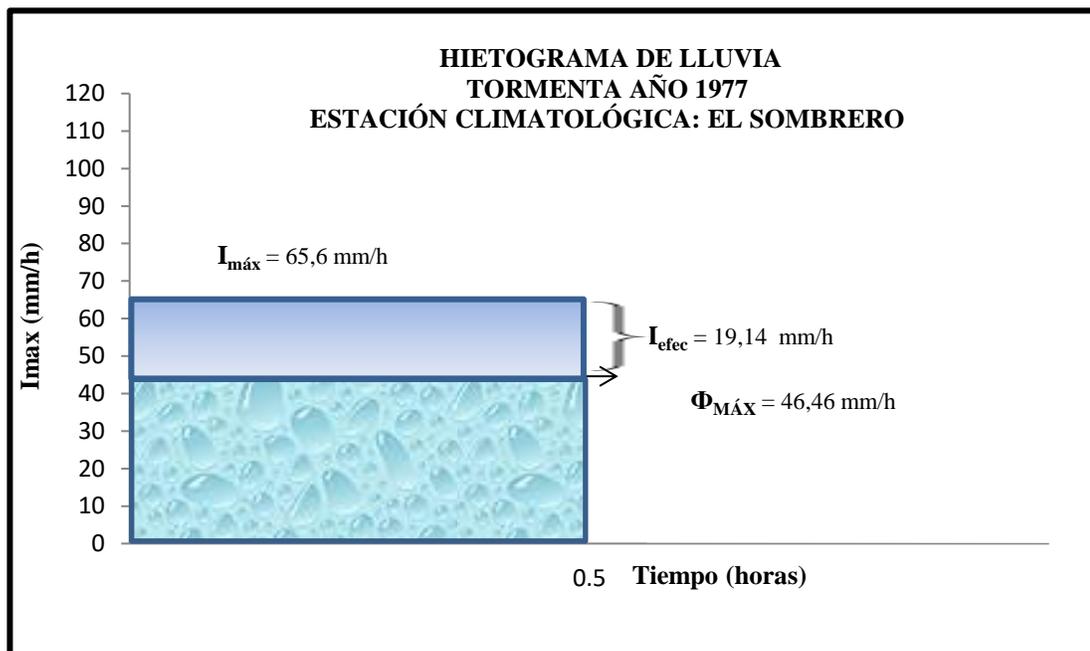


Figura 5.17 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1977. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

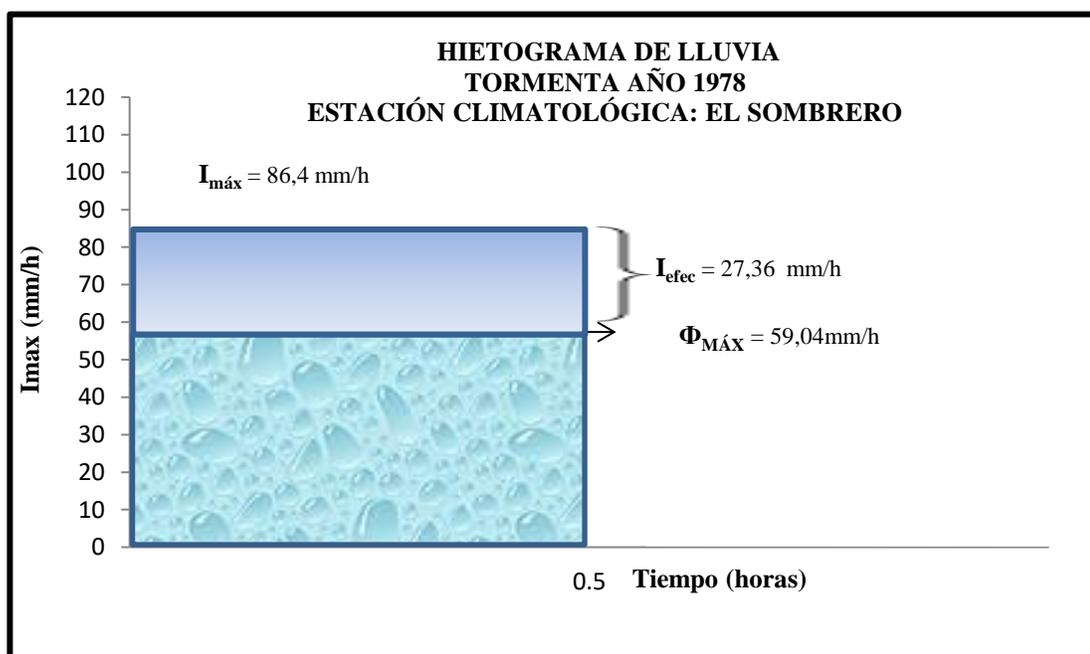


Figura 5.18 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1978. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

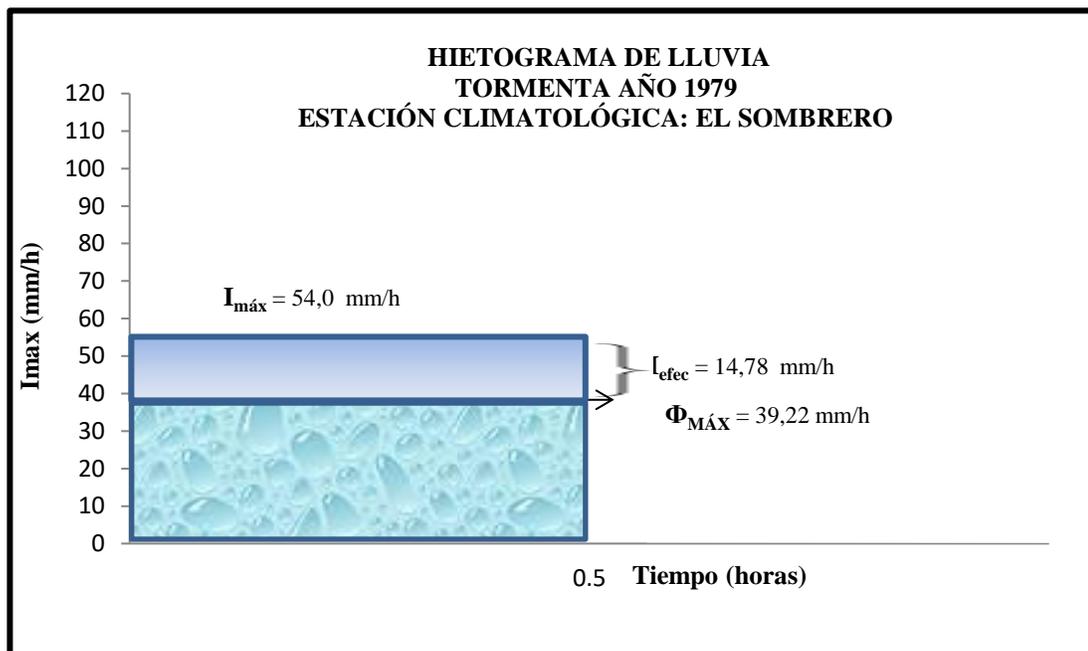


Figura 5.19 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1979. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

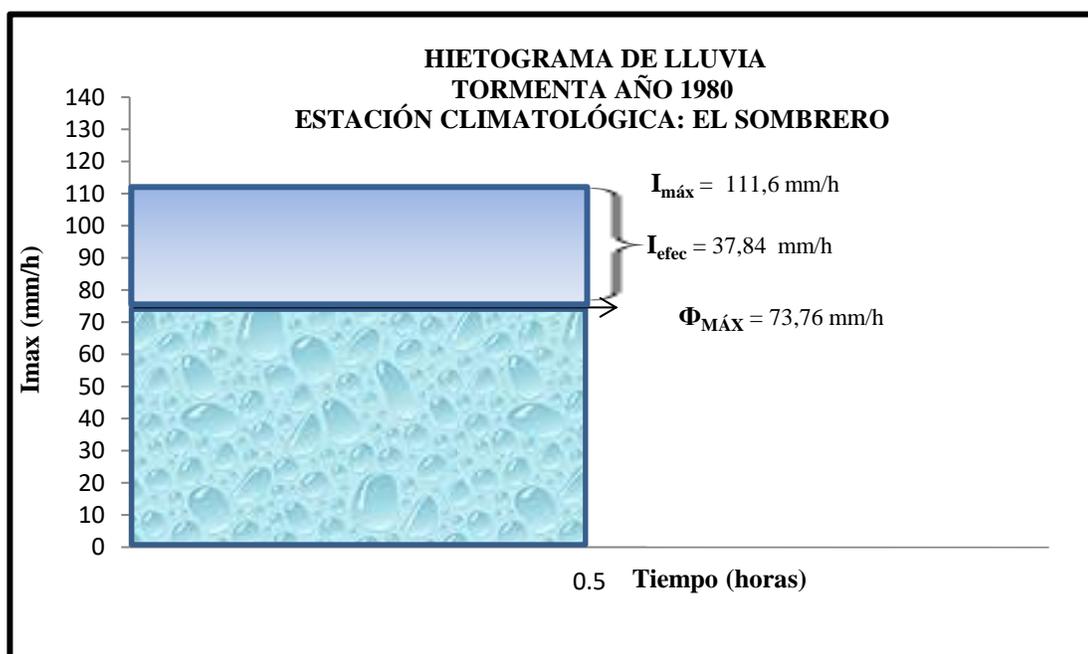


Figura 5.20 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1980. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

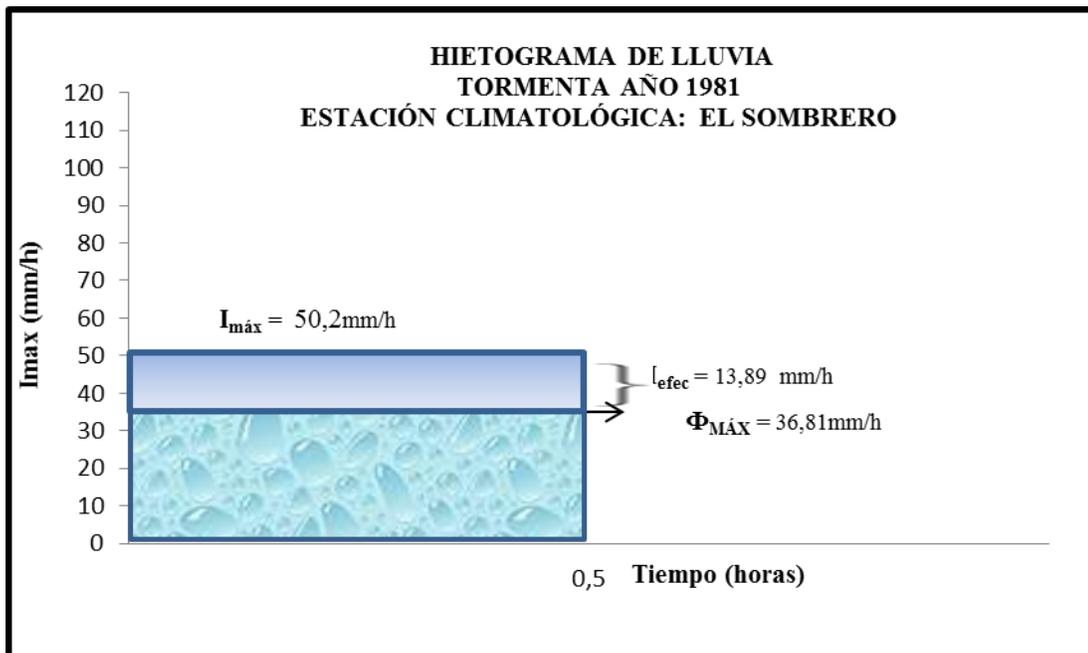


Figura 5.21 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1981. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

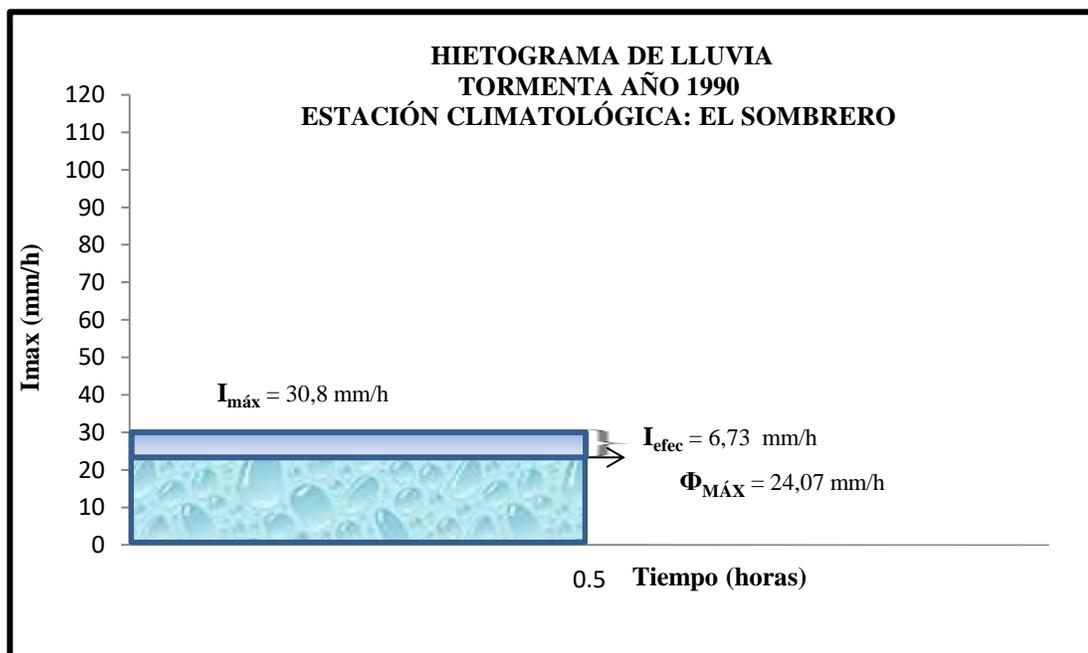


Figura 5.22 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1990. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

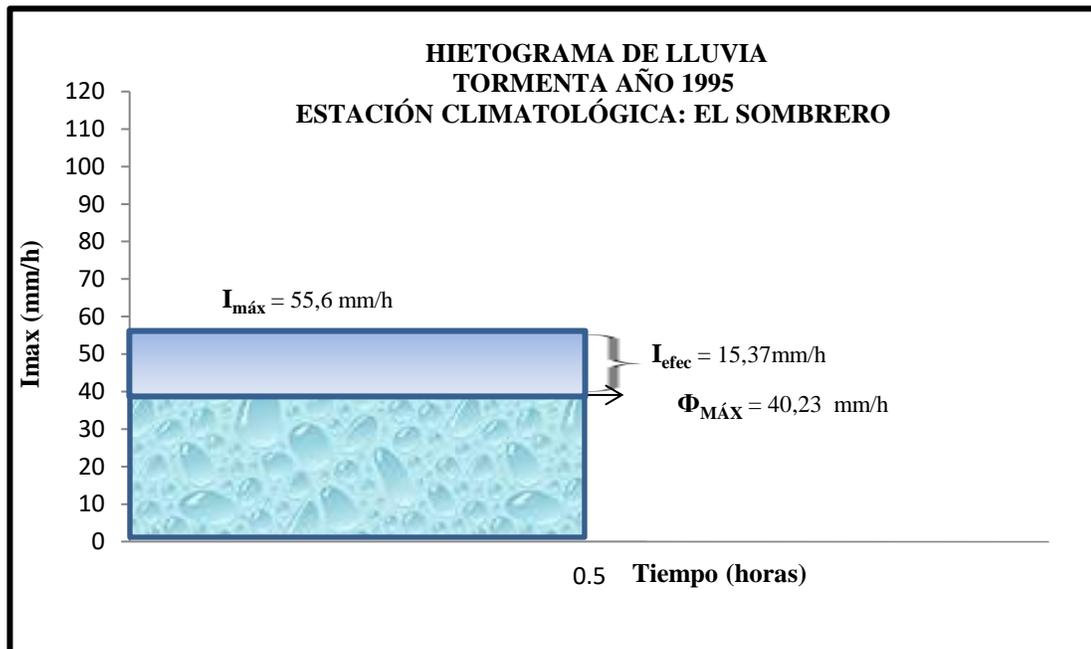


Figura 5.23 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1995. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

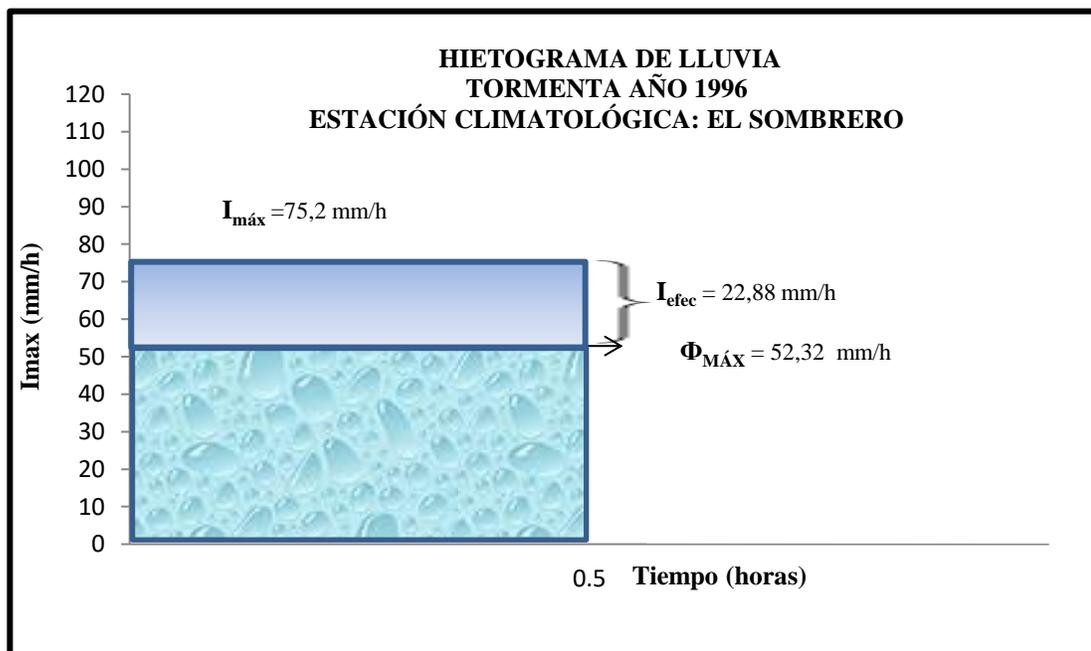


Figura 5.24 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1996. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

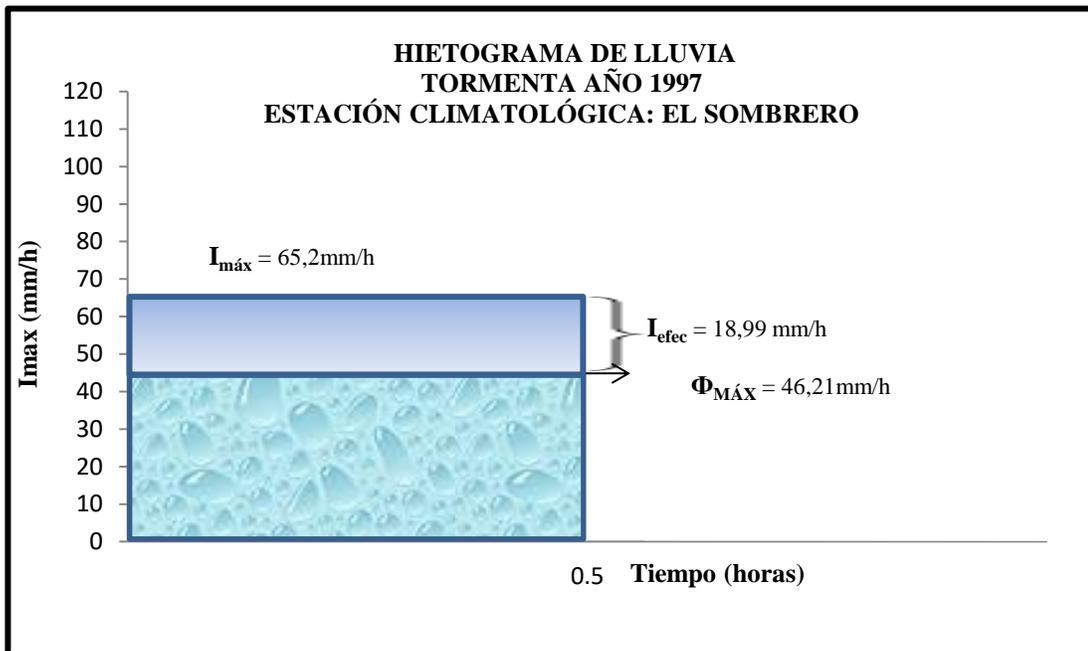


Figura 5.25 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1997. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

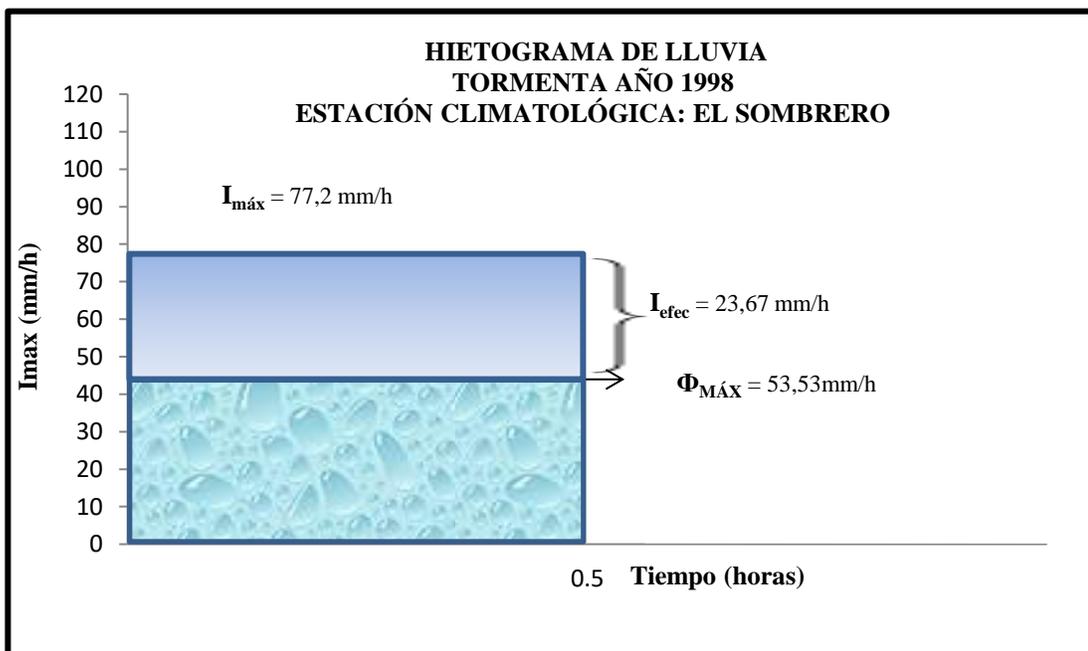


Figura 5.26 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1998. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

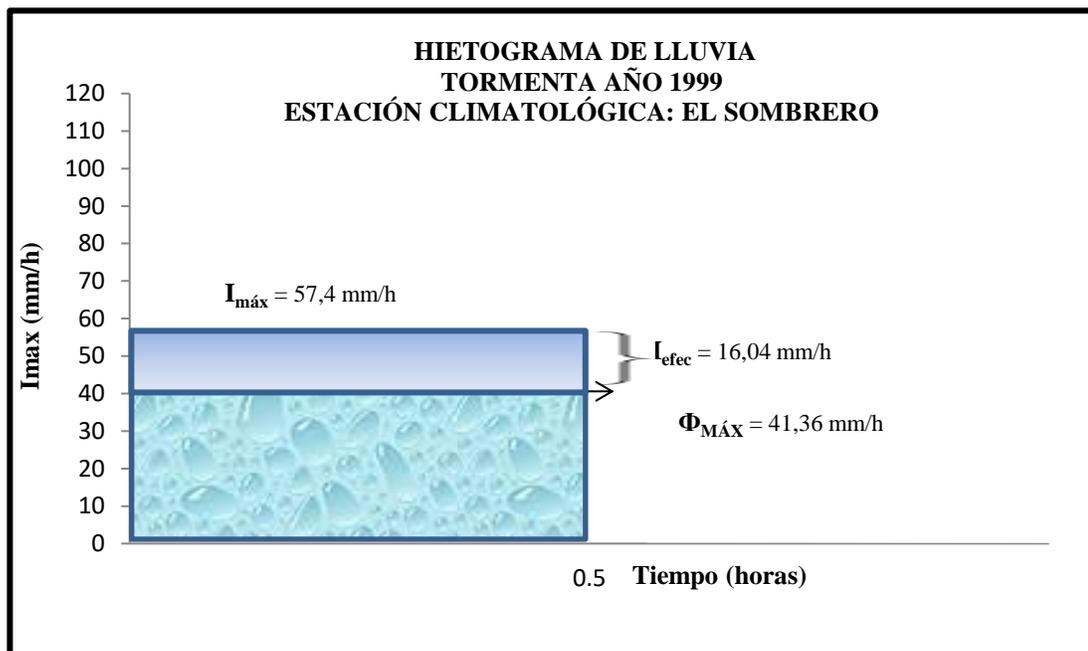


Figura 5.27 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1999. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

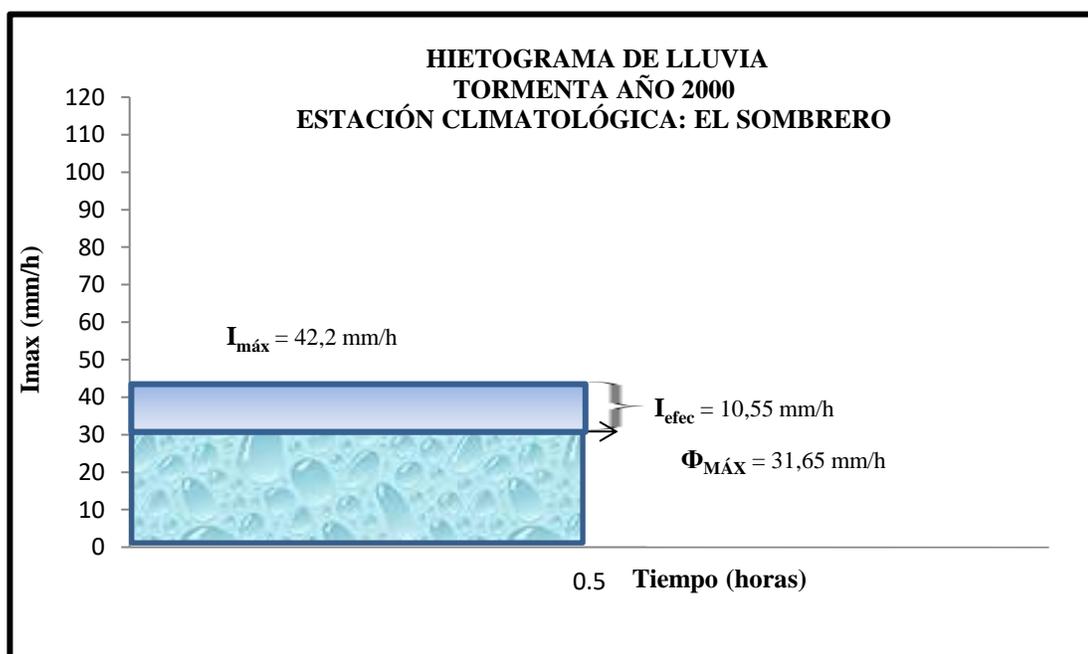


Figura 5.28 Método de Liu – Wang. Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 2000. Estación Climatológica: El Sombrero. Descripción del terreno: Arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

Siguiendo el procedimiento planteado en la metodología, se calcularon: el Índice de Pérdida ( $\Phi$ ), Lámina Efectiva (Lefec), Lámina Infiltrada (Linf), Lámina Precipitada (Lp), Coeficiente de Escurrimiento (Ce) y Coeficiente de Infiltración (Cinf), para cada lluvia máxima anual considerada; y considerando los parámetros (a) y (b) de la condición de humedad: Húmedo; y la condición del terreno de: Suelos arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

La Tabla 5.8 resume los valores de diseño del Método de Liu-Wang, para la Condición de Humedad del Suelo: Húmedo, y para la Descripción de las Condiciones del Terreno: Suelos arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

Tabla 5.8 Valores de Intensidad Máxima (Imáx), Índice de Infiltración ( $\Phi$ ), Lámina Efectiva (Lefec), Lámina Infiltrada (Linf), Lámina Precipitada (Lp), Coeficiente de Escurrimiento (Ce) y Coeficiente de Infiltración (Cinf) Período Climatológico: 1965 - 2000 (24 años). Condición de Humedad Antecedente: Húmedo. Descripción del Terreno: Suelos arenosos, floresta vegetal original con un piso forestal denso.

<b>Año</b>	<b>Imáx (mm/h)</b>	<b><math>\Phi</math> (mm/h)</b>	<b>Lefec (mm)</b>	<b>Linf (mm)</b>	<b>Lp (mm)</b>	<b>Ce (%)</b>	<b>Cinf (%)</b>
1965	50,4	36,94	6,73	18,47	25,2	26,71	73,29
1966	57,4	41,36	8,02	20,68	28,7	27,94	72,06
1967	63,0	44,85	9,07	22,43	31,5	28,81	71,19
1968	59,4	42,61	8,39	21,31	29,7	28,26	71,74
1969	127,2	82,65	22,27	41,33	63,6	35,02	64,98
1970	98,2	65,99	16,10	33,00	49,1	32,80	67,20
1971	83,6	57,37	13,12	28,68	41,8	31,38	68,62
1972	65,6	46,46	9,57	23,23	32,8	29,18	70,82
1973	120,8	79,02	20,89	39,51	60,4	34,58	65,42
1974	38,2	29,02	4,59	14,51	19,1	24,02	75,42
1975	64,8	45,97	9,42	22,98	32,4	29,07	70,93
1976	115	75,71	19,64	37,86	57,5	34,16	65,84
1977	65,6	46,46	9,57	23,23	32,8	29,18	70,82
1978	86,4	59,04	13,68	29,52	43,2	31,67	68,33
1979	54	39,22	7,39	19,61	27,0	27,36	72,64

Continuación de la Tabla 5.8

Año	Imáx (mm/h)	$\Phi$ (mm/h)	Lefec (mm)	Linf (mm)	Lp (mm)	Ce (%)	Cinf (%)
1980	111,6	73,76	18,92	36,88	55,8	33,91	66,09
1981	50,2	36,81	6,69	18,41	25,1	26,67	73,33
1990	30,8	24,07	3,37	12,03	15,4	21,86	78,14
1995	55,6	40,23	7,68	20,12	27,8	27,64	72,36
1996	75,2	52,32	11,44	26,16	37,6	30,43	69,57
1997	65,2	46,21	9,49	23,11	32,6	29,12	70,88
1998	77,2	53,53	11,84	26,76	38,6	30,66	69,34
1999	57,4	41,36	8,02	20,68	28,7	27,94	72,06
2000	42,2	31,65	5,27	15,83	21,1	25,00	75,00
<b>Promedio</b>						<b>29,31</b>	<b>70,69</b>

Los resultados obtenidos por el método de Liu y Wang para la estimación del coeficiente de escurrimiento, fue un valor promedio espacial  $C_e = 29,31$  % y por consiguiente un valor de coeficiente de infiltración  $C_{inf} = 70,69$  %. Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede afirmar que el valor en porcentaje del coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) es aceptable, ya que se justifica por el tipo de suelo predominante espacialmente en la zona: arenofrancoarcilloso (aFA), correspondiendo a un Tipo de Suelo B, cuya característica promedio espacial de escurrimiento superficial es: Moderadamente (Medianamente) Bajo Potencial de Escurrimiento, siendo el rango de oscilamiento del coeficiente de escurrimiento el siguiente:  $(25\% < C_e < 50\%)$ , sustituyendo el valor de coeficiente de escurrimiento queda:  $(25\% < 29,31\% < 50\%)$ .

### 5.7.2 Método de Cartaya (Liu y Wang, modificado)

El procedimiento de cálculo y de construcción de los hietogramas de lluvia, por el Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado), es análogo al aplicado en el Método de Liu-Wang.

La Tabla 5.9, muestra los valores de diseño del índice de Pérdidas ( $\Phi$ ), para Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). En este método, Cartaya usa valores predeterminados, establecidos por el estudio que se realizó en el Centro-Oriente y Centro Occidente del país, específicamente en los estados: Miranda, Carabobo, Falcón, Guárico, Portuguesa y Apure, con una serie de tormentas analizadas, lo cual permitió estimar por correlación lineal los coeficientes “a” y “b”, de la relación de Liu-Wang original, siendo estos finalmente:  $a = 1,09$  y  $b = 0,85$ .

Tabla 5.9 Valores de diseño del índice de pérdidas ( $\Phi$ ). Método de Cartaya (Liu - Wang, modificado) El Sombrero, Período climatológico: 1965-2000 (24 años).

<b>Año</b>	<b>Imáx (mm/h)</b>	<b>(a)</b>	<b>(b)</b>	<b><math>\Phi</math> (mm/h)</b>
1965	50,4	1,09	0,85	30,41
1966	57,4			34,08
1967	63,0			36,88
1968	59,4			35,08
1969	127,2			67,02
1970	98,2			53,79
1971	83,6			46,91
1972	65,6			38,17
1973	120,8			64,14
1974	38,2			24,10
1975	64,8			37,78
1976	115			61,52
1977	65,6			38,17
1978	86,4			48,24
1979	54,0			32,35
1980	111,6			59,97
1981	50,2			30,41
1990	30,8			20,07
1995	55,6			33,16
1996	75,2			42,87
1997	65,2			37,97
1998	77,2			43,84
1999	57,4			34,08
2000	42,2			26,23

Las Figuras 5.29 hasta el 5.52, describen los hietogramas de lluvia para cada tormenta de diseño, cuyo período climatológico fue desde el año: 1.965-2000 (24 años), al considerar los valores de diseño de los coeficientes “a” y “b”, establecidos por el Ing. Humberto Cartaya en su método; lo cual finalmente permitió estimar el valor de intensidad efectiva  $I_{efc}$  en (mm/h), y la correspondiente lámina efectiva  $L_{efc}$  en (mm).

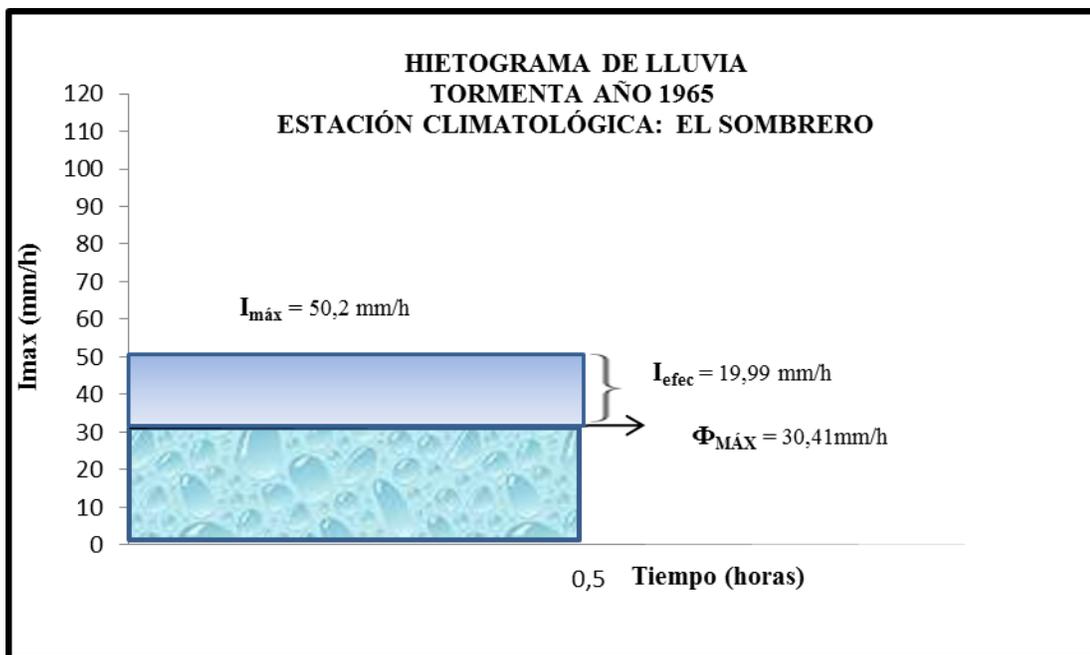


Figura 5.29 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1965. Estación Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

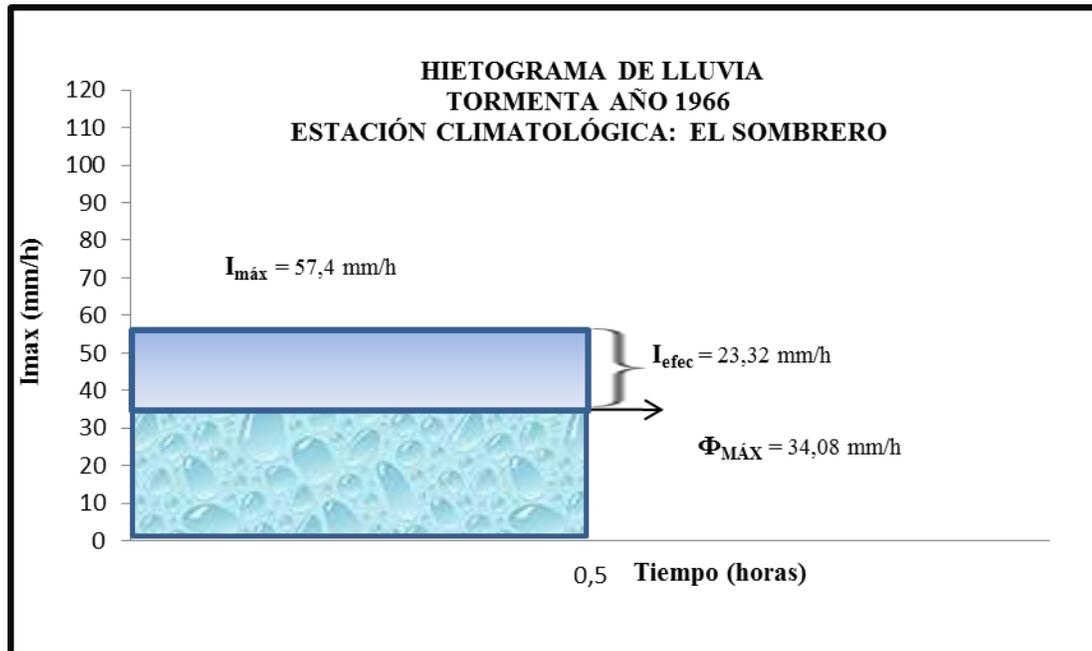


Figura 5.30 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1966. Estación Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

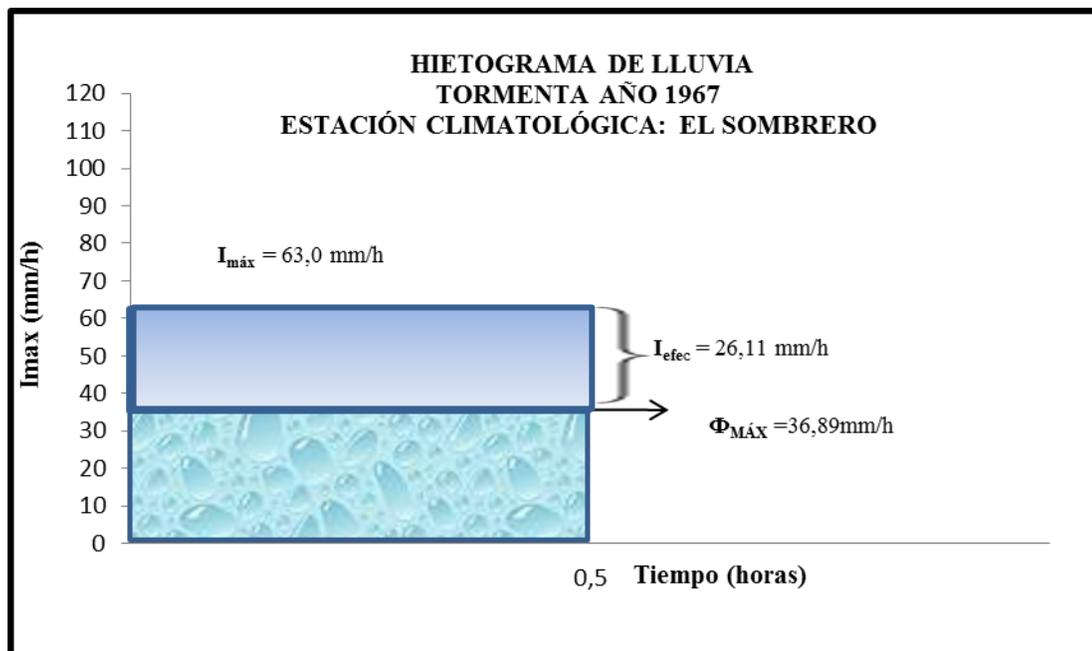


Figura 5.31 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta Año 1967. Estación Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

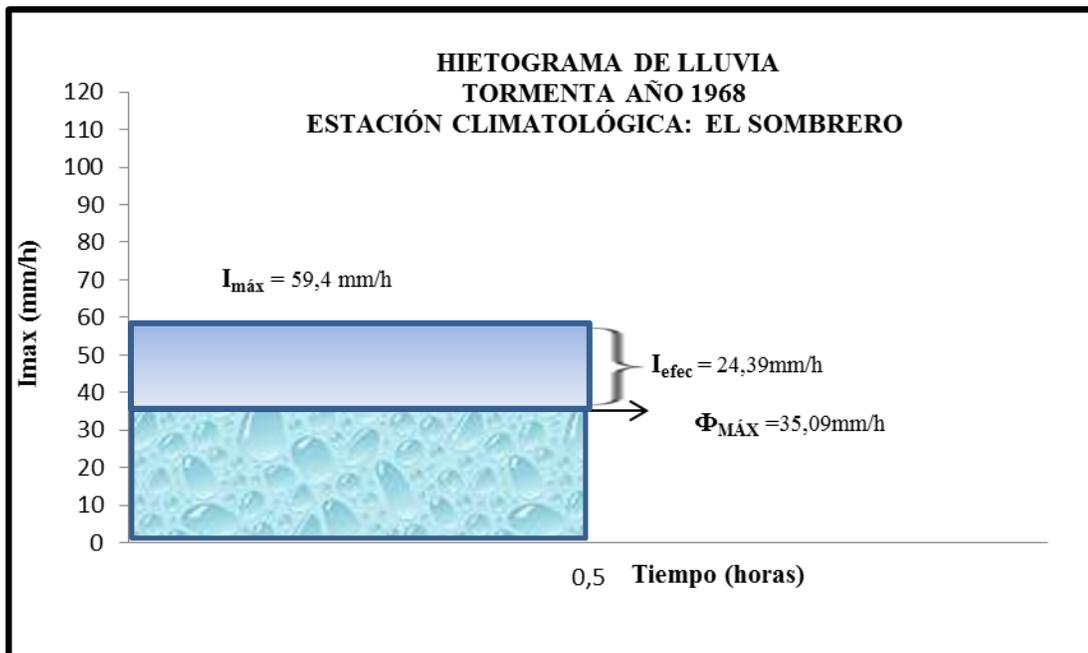


Figura 5.32 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1968. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

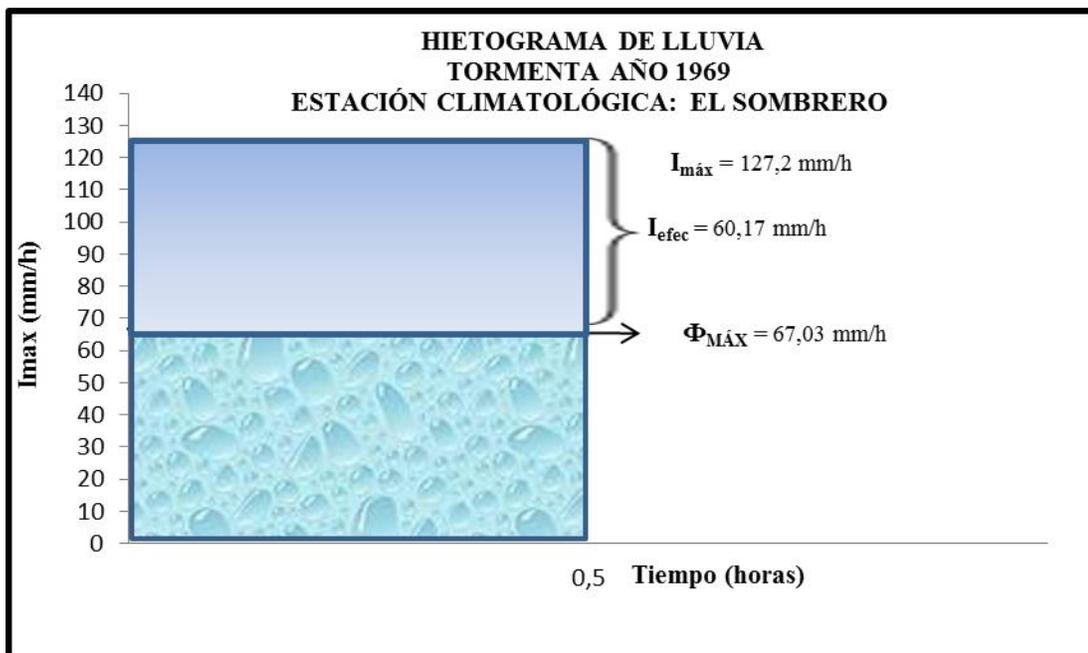


Figura 5.33 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1969. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

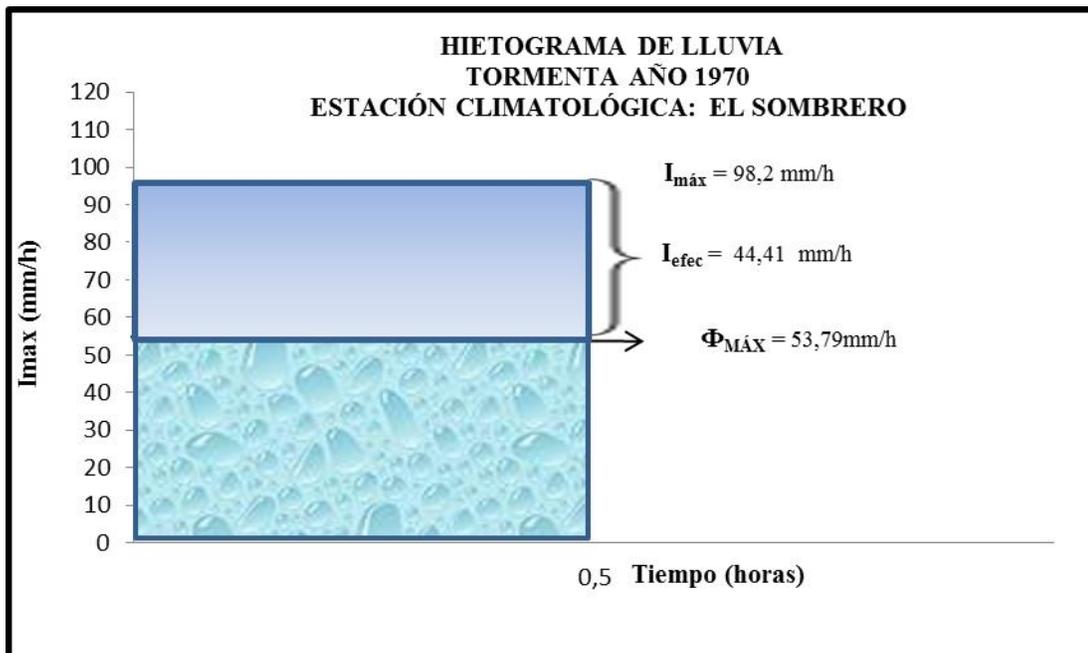


Figura 5.34 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1970. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

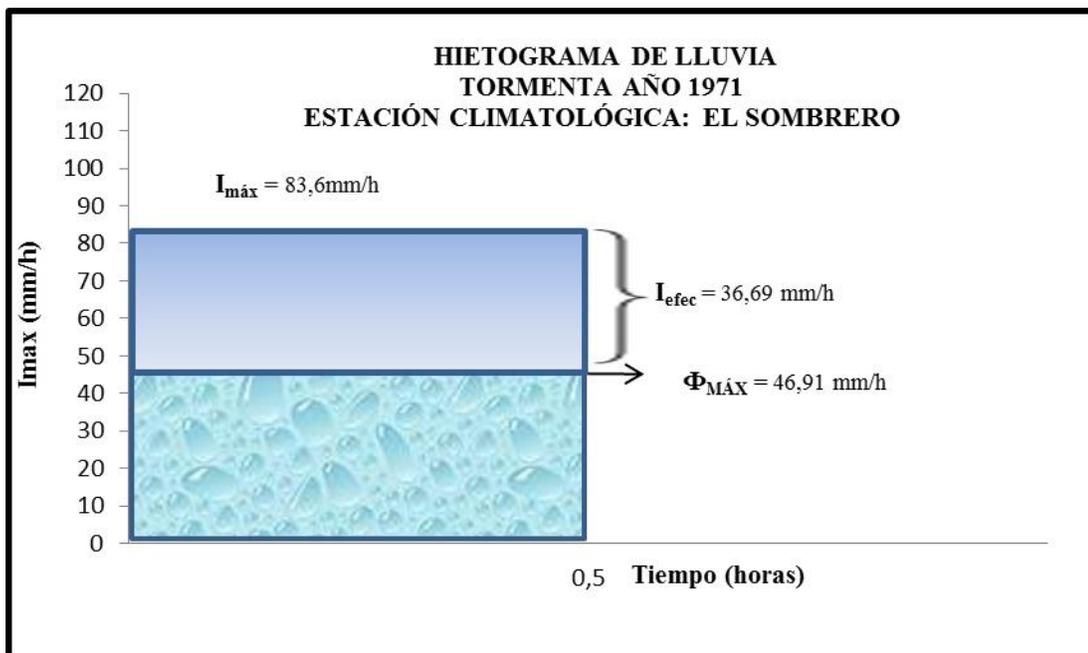


Figura 5.35 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1971. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

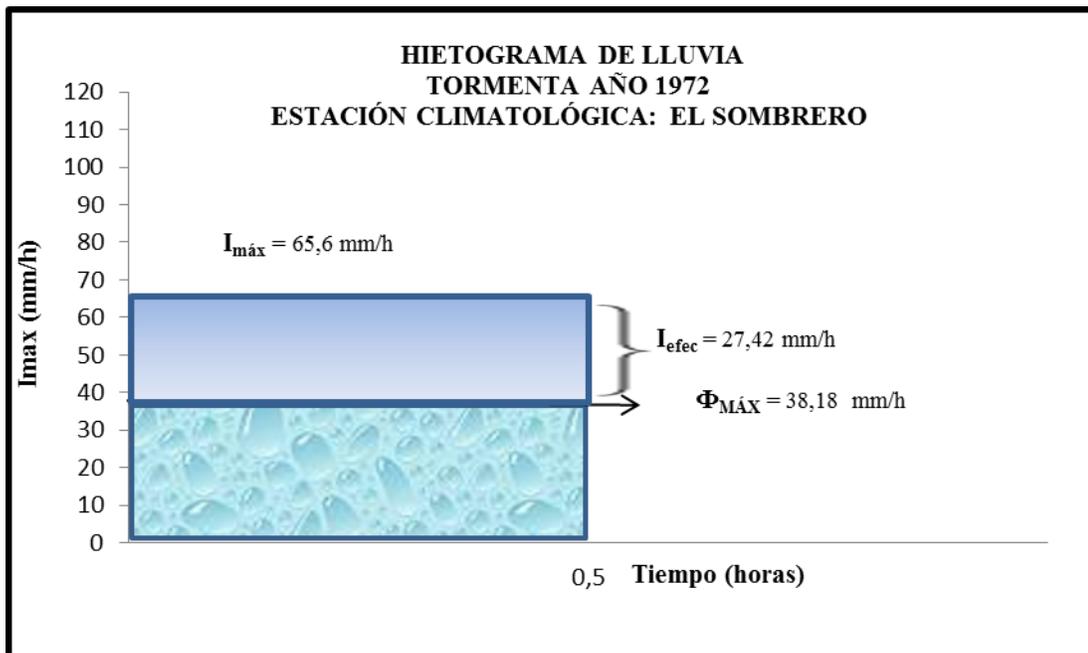


Figura 5.36 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1972. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

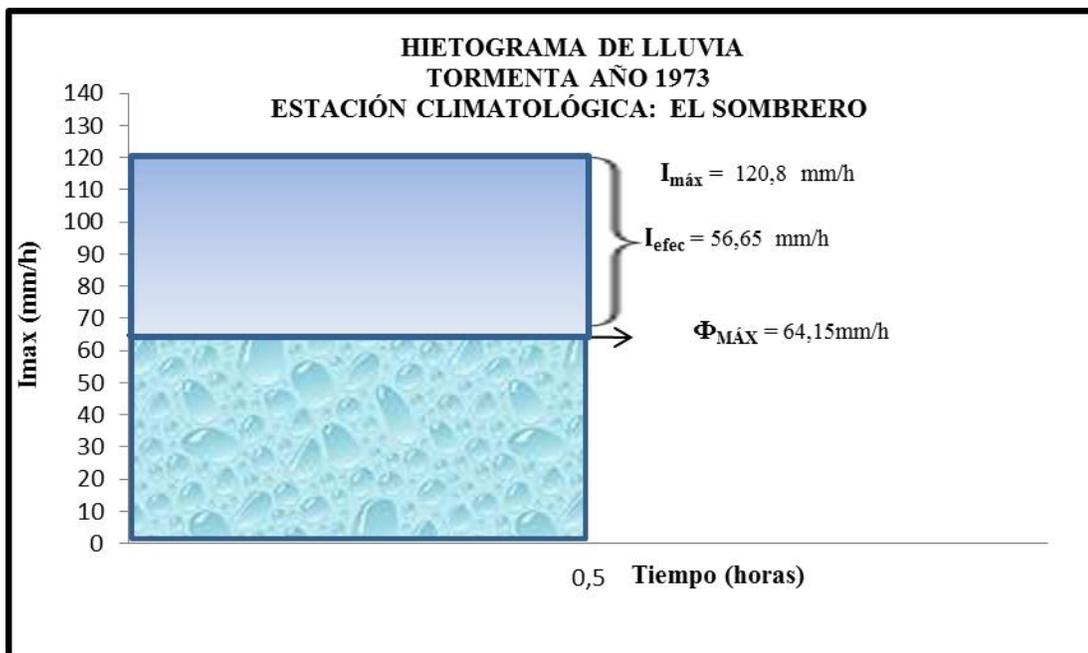


Figura 5.37 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1973. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

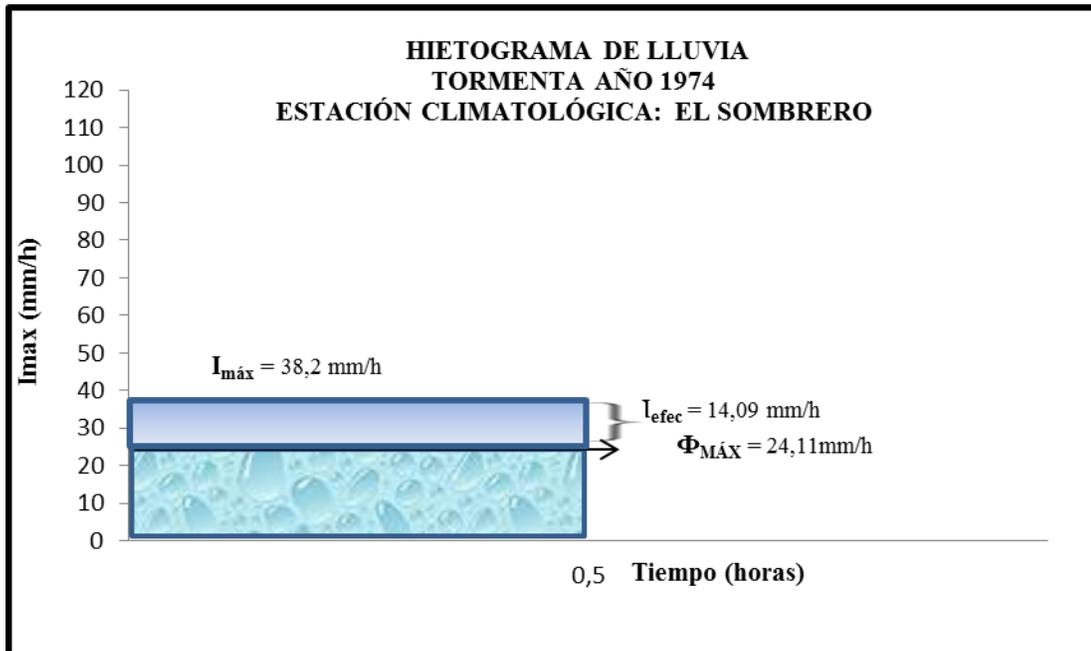


Figura 5.38 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1974. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

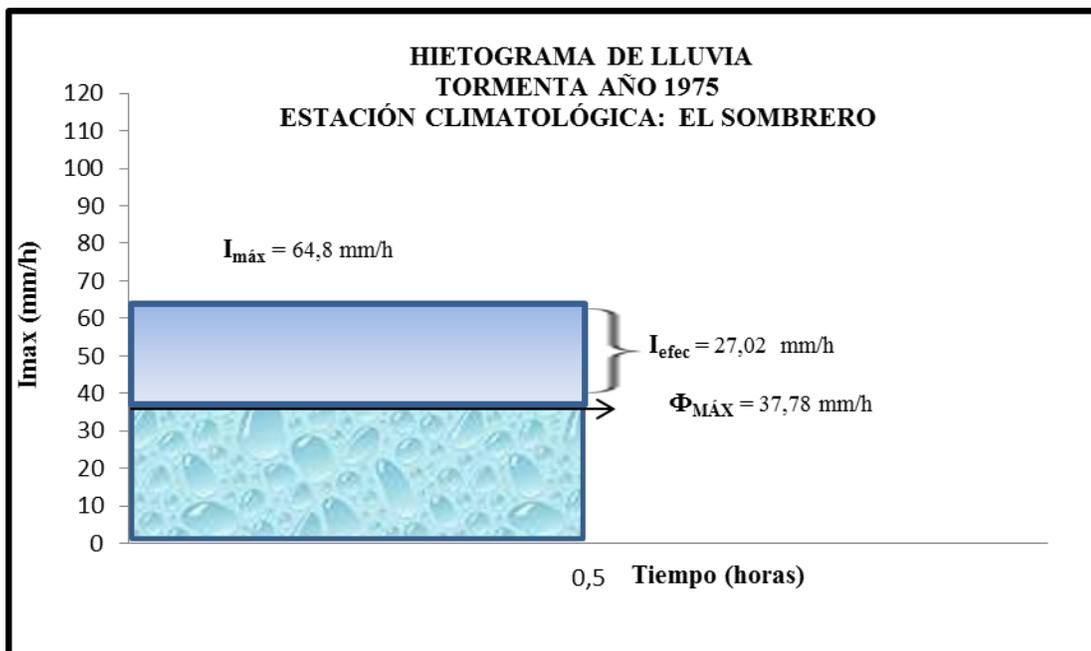


Figura 5.39 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1975. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

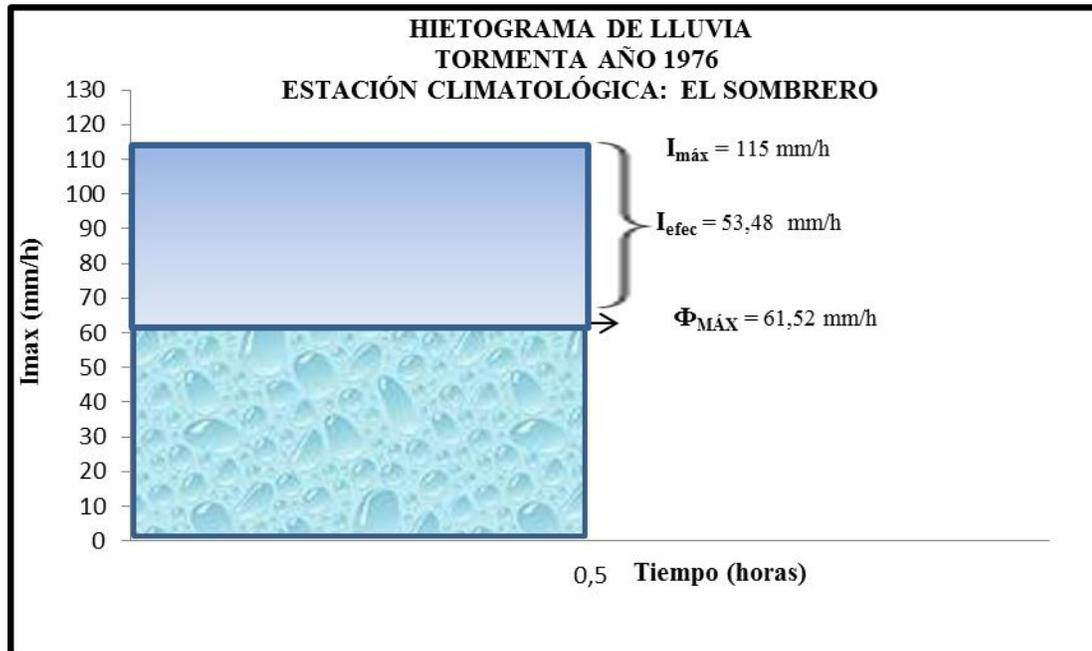


Figura 5.40 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1976. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

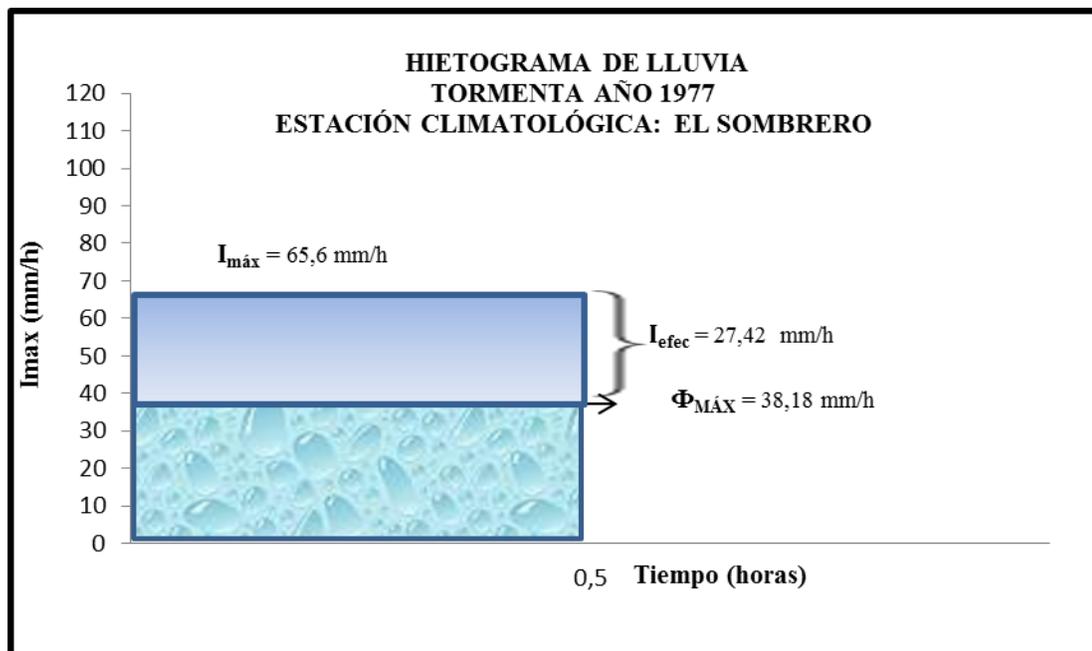


Figura 5.41 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1977. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

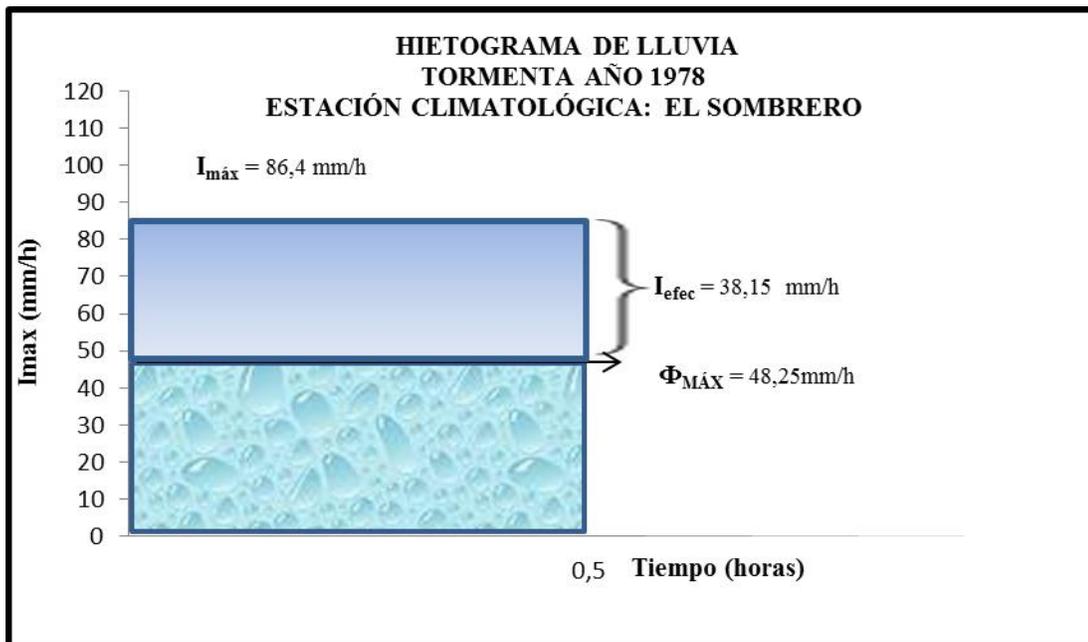


Figura 5.42 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1978. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

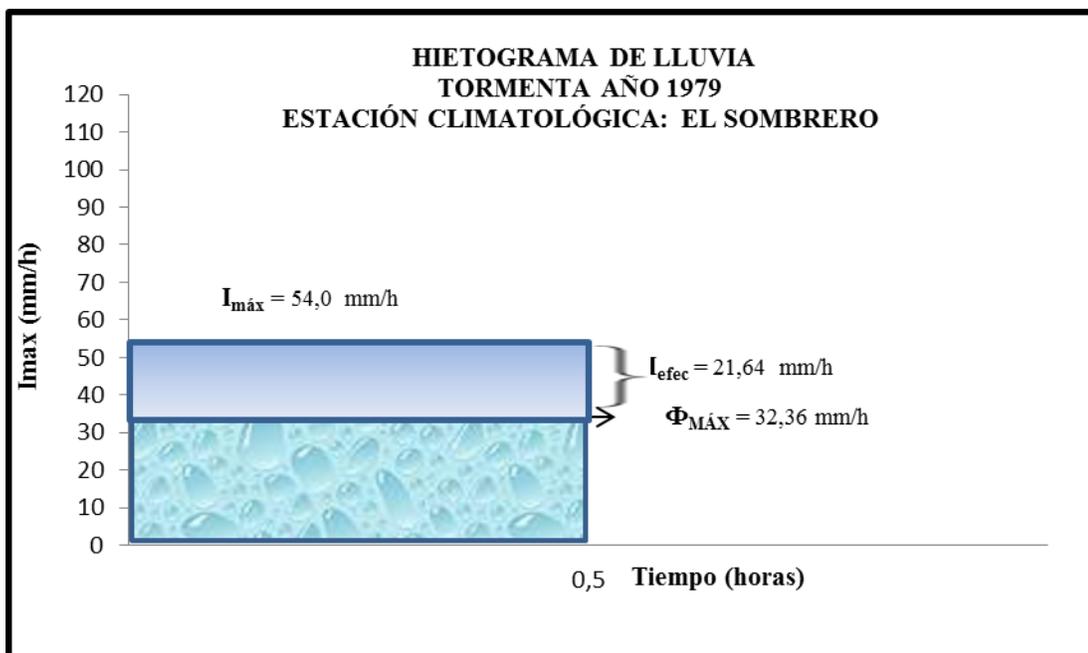


Figura 5.43 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1979. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

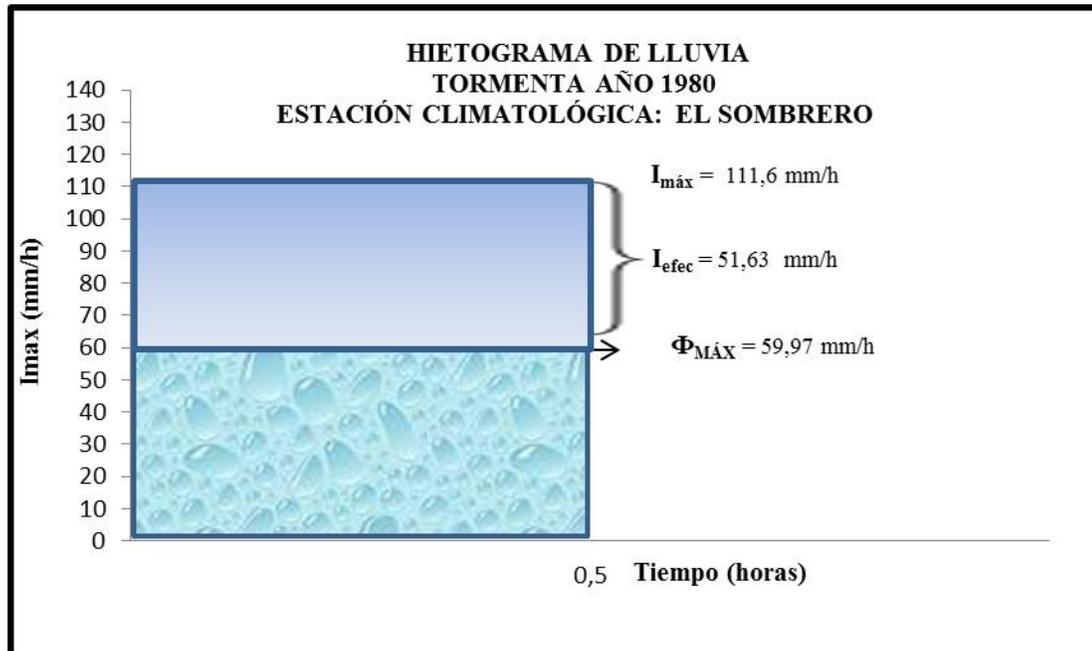


Figura 5.44 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1980. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

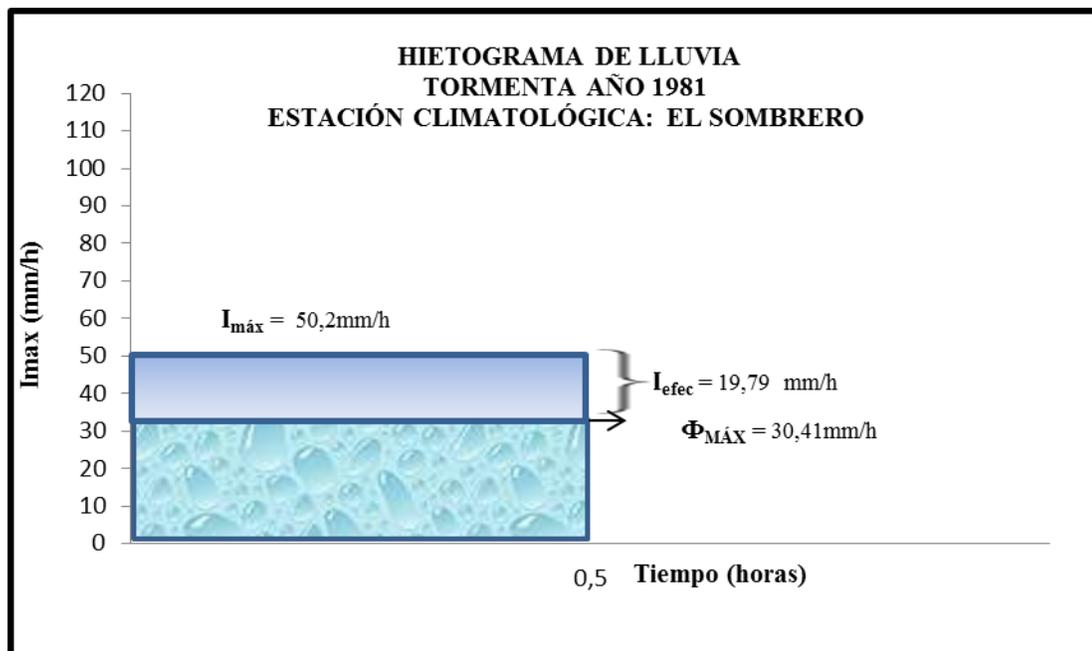


Figura 5.45 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1981. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

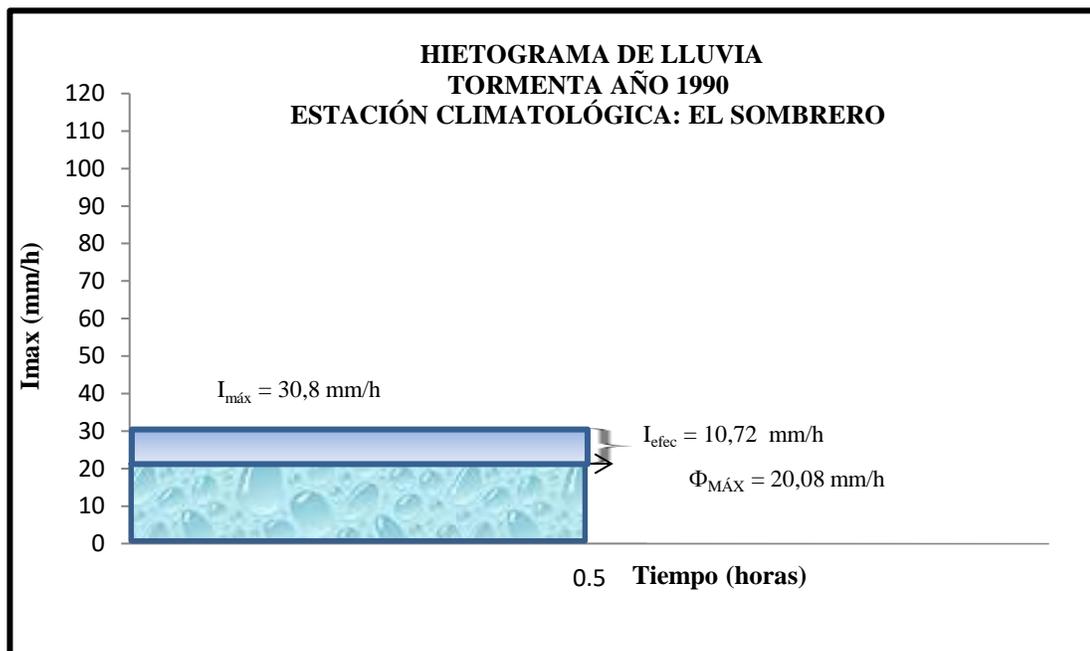


Figura 5.46 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1990. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

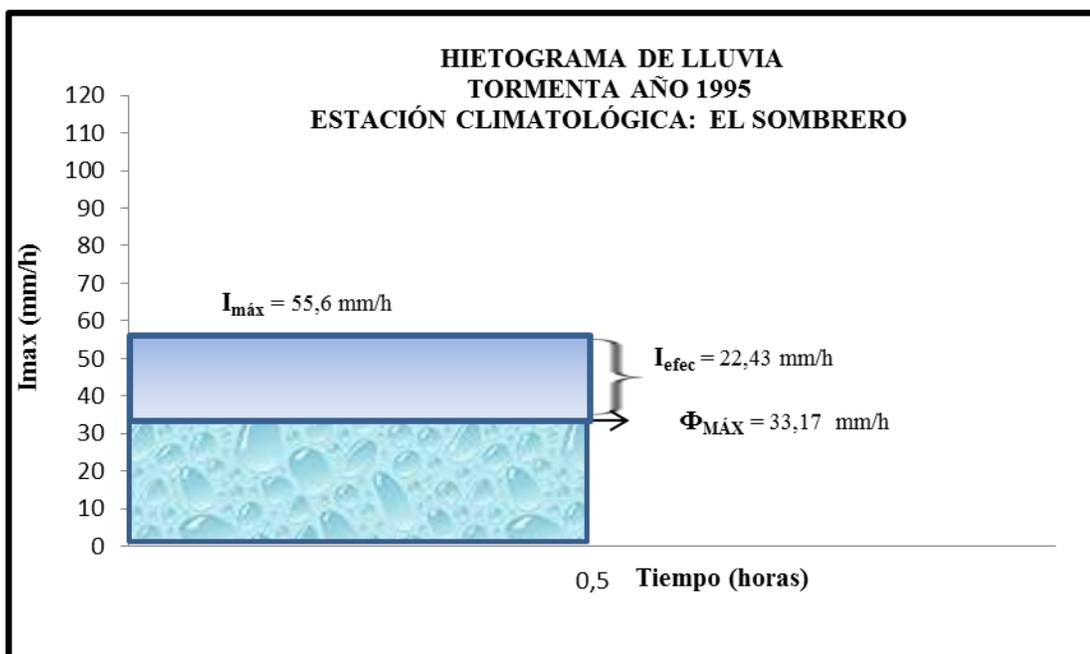


Figura 5.47 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1995. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

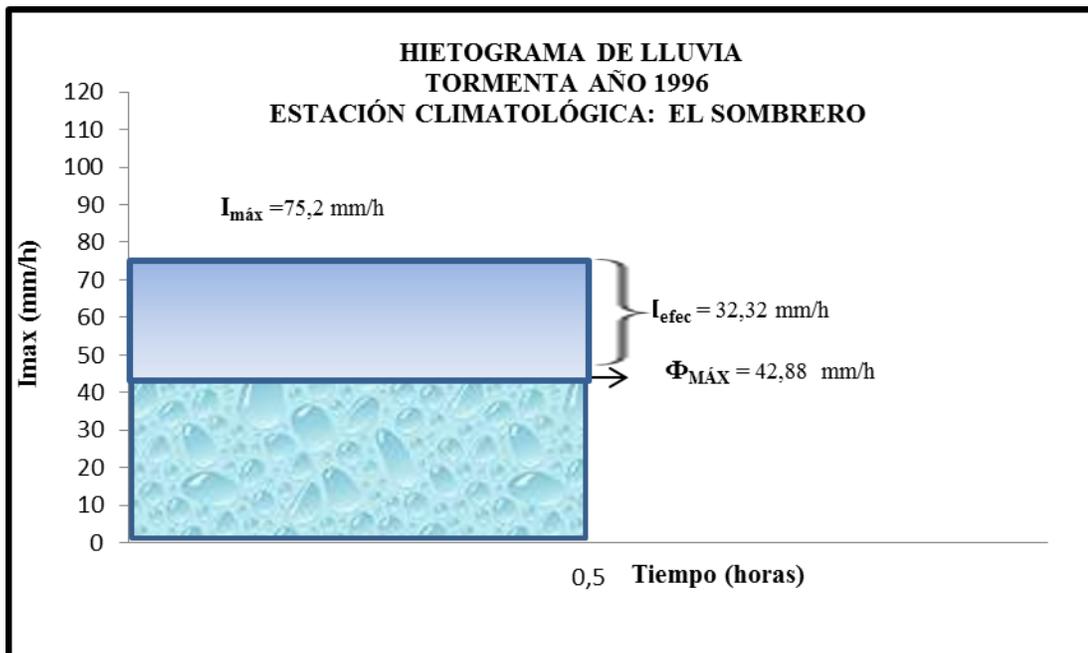


Figura 5.48 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1996. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

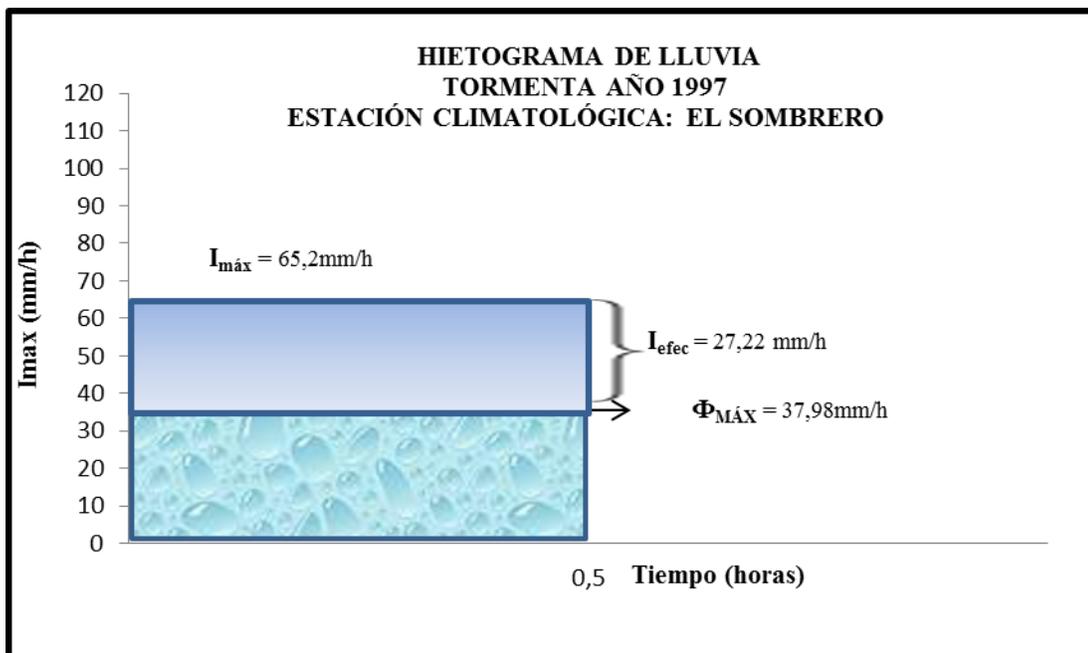


Figura 5.49 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1997. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

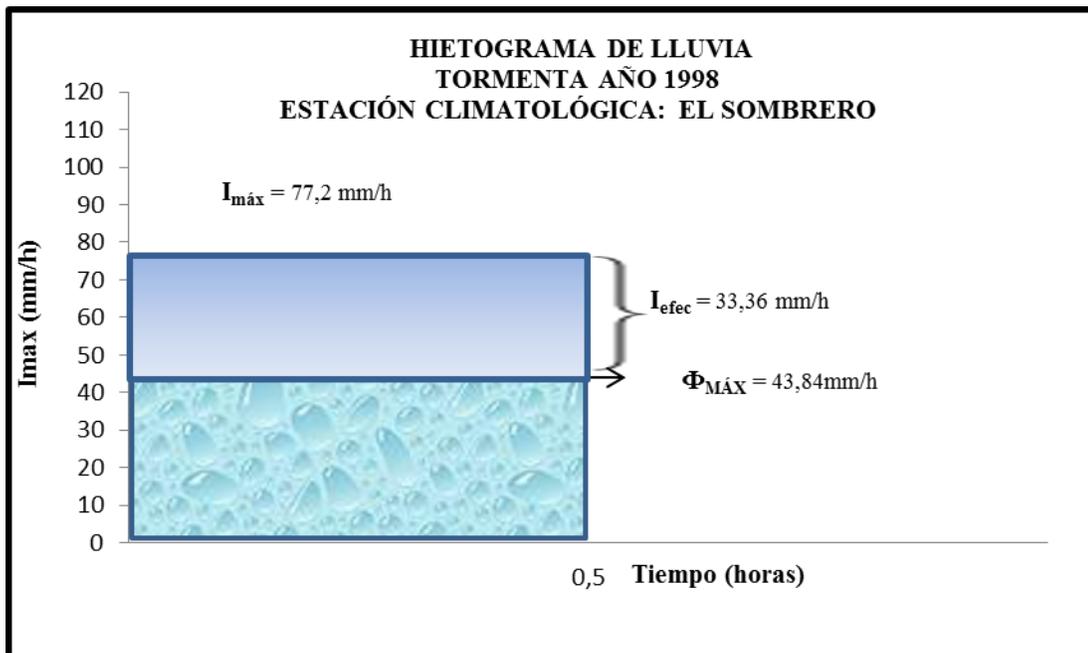


Figura 5.50 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1998. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

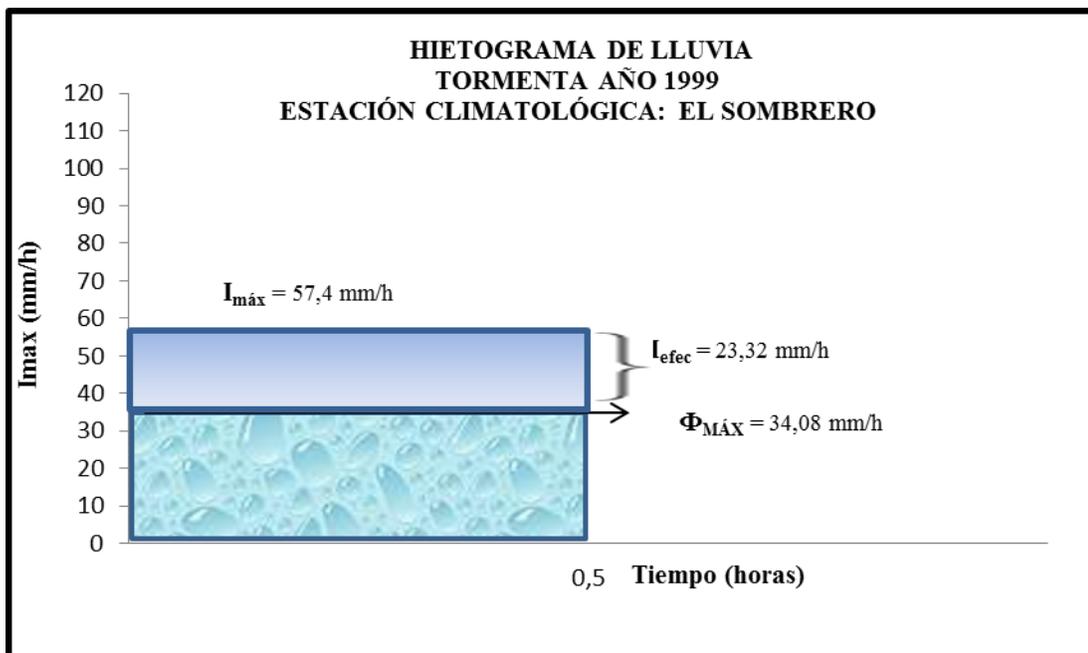


Figura 5.51 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 1999. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

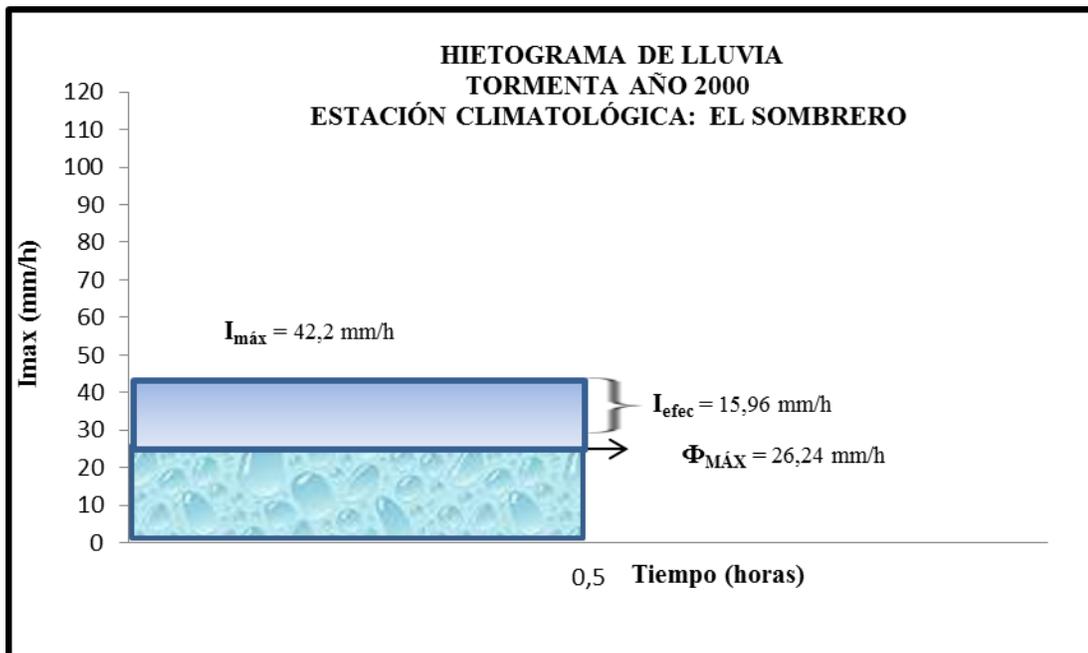


Figura 5.52 Método de Cartaya (Liu-Wang, modificado). Hietograma de Lluvia. Tormenta año 2000. Estacion Climatológica: El Sombrero, estado Guárico.

La Tabla 5.10, resume todos los Valores de Diseño del Método de Cartaya (Liu y Wang, modificado).

Tabla 5.10 Valores de Intensidad Máxima ( $I_{m\acute{a}x}$ ), Índice de Infiltración ( $\Phi$ ), Lámina Efectiva ( $L_{efec}$ ), Lámina Infiltrada ( $L_{inf}$ ), Lámina Precipitada ( $L_p$ ), Coeficiente de Escurrimiento ( $C_e$ ) y Coeficiente de Infiltración ( $C_{inf}$ ). Período Climatológico: 1965 - 2000. Diseño del Método de Cartaya (Liu y Wang, Modificado).

<b>Año</b>	<b><math>I_{m\acute{a}x}</math> (mm/h)</b>	<b><math>\Phi</math> (mm/h)</b>	<b><math>L_{efec}</math> (mm)</b>	<b><math>L_{inf}</math> (mm)</b>	<b><math>C_e</math> (%)</b>	<b><math>C_{inf}</math> (%)</b>
1965	50,4	30,51	9,95	15,25	39,48	60,52
1966	57,4	34,08	11,66	17,04	40,63	59,37
1967	63,0	36,89	13,06	18,44	41,45	58,55
1968	59,4	35,09	12,16	17,54	40,93	59,07
1969	127,2	67,03	30,09	33,51	47,31	52,69
1970	98,2	53,79	22,20	26,90	45,22	54,78
1971	83,6	46,91	18,34	23,46	43,88	56,12
1972	65,6	38,18	13,71	19,09	41,80	58,20

Continuación de la Tabla 5.10

Año	I <sub>máx</sub>	Φ (mm/h)	L <sub>efec</sub>	L <sub>inf</sub>	Ce (%)	C <sub>inf</sub> (%)
1973	120,8	64,15	28,33	32,07	46,90	53,10
1974	38,2	24,11	7,05	12,05	36,89	63,11
1975	64,8	37,78	13,51	18,89	41,70	58,30
1976	115	61,52	26,74	30,76	46,50	53,50
1977	65,6	38,18	13,71	19,09	41,80	58,20
1978	86,4	48,25	19,08	24,12	44,16	55,84
1979	54,0	32,36	10,82	16,18	40,08	59,92
1980	111,6	59,97	25,81	29,99	46,26	53,74
1981	50,2	30,41	9,89	15,21	39,42	60,58
1990	30,8	20,08	5,36	10,04	34,82	65,18
1995	55,6	33,17	11,22	16,58	40,34	59,66
1996	75,2	42,88	16,16	21,44	42,98	57,02
1997	65,2	37,98	13,61	18,99	41,75	58,25
1998	77,2	43,84	16,68	21,92	43,21	56,79
1999	57,4	34,08	11,66	17,04	40,63	59,37
2000	42,2	26,24	7,98	13,12	37,82	62,18
<b>Promedio</b>					<b>41,91</b>	<b>58,09</b>

Los resultados obtenidos por el método de Cartaya (Liu y Wang, modificado) para la estimación del coeficiente de escurrimiento y de infiltración, fue un valor promedio espacial  $C_e = 41,91 \%$  y por consiguiente un valor de coeficiente de infiltración = 58,09%. Vale hacer notar que el valor estimado de coeficiente de escurrimiento por el Método de Cartaya, cumple con el rango de escurrimiento establecido para el Tipo de Suelo B: ( $25\% < 41,91 < 50\%$ ).

Sobre la base de los resultados obtenidos por el Método de Cartaya (Liu y Wang, modificado), se puede afirmar que los valores estimados de Coeficiente de Escurrimiento ( $C_e$ ), es aceptable ya que los valores de los parámetros (a) y (b), correlacionados por el Ing. Cartaya, para estimar el Índice de Pérdidas ( $\emptyset$ ), se adaptan a las condiciones físico-naturales de El Sombrero.

### 5.7.3 Método de número de curva SCS (US Soil Conservation Service)

Como resultado del análisis e interpretación del período de lluvia media mensual, sobre la zona de El Sombrero, y de las condiciones de borde del Método del Número de Curva (SCS), se consideró tomar la Condición de Humedad Antecedente III [saturado de Humedad (CNIII)] como diseño, debido a que es la relación suelo-cobertura vegetal, que garantiza potencialmente la ocurrencia de escurrimiento superficial sobre el suelo saturado de humedad en la zona de el Sombrero. Para obtener el número de curva (CNIII de diseño para la Condición de Humedad Antecedente III, se hace imprescindible y obligante, la determinación del número de curva para los diferentes usos de suelo, para la Condición de Humedad Antecedente II [medianamente húmedo (CNII)], y luego por extrapolación (Tabla 3.4) se estiman los números de curvas para esa misma condición. El suelo de El Sombrero, se clasifica como Tipo B (Tabla 3.5), es decir, Medianamente Bajo Potencial de Escurrimiento, donde el valor estimado potencial deberá estar en el rango:  $(25\% < Ce < 50\%)$ .

La Tabla 5.11, resume los valores de número de curva (CN), para la Condición de Humedad Antecedente II: Medianamente Húmedo; y para Suelo Tipo B, según las especificaciones del Método. Vale destacar que se utilizaron los diferentes usos de suelo o de la tierra, en el mapa satelital establecido para El Sombrero, los cuales fueron: Vialidad (autopistas y carreteras asfaltadas), uso urbano (edificaciones y urbanismos), zona verde (bosques densos y de galería), uso pecuario (pastos para ganadería) y uso agrícola (zonas de cultivo) para los cuales tienen un número de curva según su humedad antecedente.

Tabla 5.11 Valores de Número de Curva CN(II). El Sombrero – Estado Guárico.

<b>Condiciones de Humedad Antecedente II (Suelo Medianamente Húmedo)</b>	<b>Tipo de Suelo: B</b>
<b>USOS DE LA TIERRA</b>	<b>CN(II)</b>
Vialidad (autopistas y carreteras asfaltadas)	84
Zonas Urbanas (edificaciones y urbanismos)	84
Zonas Verdes (bosques densos y bosques de galería)	60
Zona Pecuaria (pastizales y sabanas gramíneas arbustivas)	69
Zona Agrícola (áreas de cultivos, o de pastos mejorados)	75,5

La Tabla 5.12, presenta los Números de Curva CN(III) de diseño, para cada uso de suelo, considerando la Condición de Humedad Antecedente III (saturado de humedad).

Tabla 5.12 Valores de Número de Curva CN (III). El Sombrero – Estado Guárico.

<b>Condiciones de Humedad Antecedente III (Suelo Húmedo)</b>	<b>Tipo de Suelo: B</b>
<b>USOS DE LA TIERRA</b>	<b>CN(III)</b>
Vialidad (autopistas y carreteras asfaltadas)	94
Zonas Urbanas (edificaciones y urbanismos)	94
Zonas Verdes (bosques densos y bosques de galería)	78
Zona Pecuaria (pastizales y sabanas gramíneas arbustivas)	85
Zona Agrícola (área de cultivos, o de pastos mejorados)	89

Aplicando la ecuación (3.11), se estimó el valor de Infiltración potencial máxima (S) en (mm), situación crítica de humedad total o máxima en el suelo, lo cual genera que el volumen de lluvia que sigue precipitando se convierta totalmente en un volumen escurrido, es decir, una lámina efectiva de escurrimiento.

Para lograr estimar este valor de infiltración potencial máxima (S), se utilizará el número de curva que requiere la ecuación 3.11, correspondiendo al estimado por interpolación para la Condición de Humedad III (Tabla 5.12), es decir CN(III).

Vale destacar que este criterio se aplicara para cada uso de suelo definido por el mapa de uso de suelos de la zona de El Sombrero, como se muestra a continuación:

1. Vialidad (autopistas y carreteras asfaltadas).

$$S = (25400 / 94) - 254 \quad \rightarrow S = 16,213 \text{ mm}$$

2. Urbanas (edificaciones y urbanismos).

$$S = (25400 / 94) - 254 \quad \rightarrow S = 16,213 \text{ mm}$$

3. Zonas Verdes (bosques densos y bosques de galería).

$$S = (25400 / 78) - 254 \quad \rightarrow S = 71,641 \text{ mm}$$

4. Zona Pecuaria (pastizales y sabanas gramíneas arbustivas).

$$S = (25400 / 85) - 254 \quad \rightarrow S = 44,824 \text{ mm}$$

5. Zona Agrícola (áreas de cultivos, o de pastos mejorados).

$$S = (25400 / 89) - 254 \quad \rightarrow S = 31,393 \text{ mm}$$

La Tabla 5.13, resume los valores de Infiltración Potencial (S) para cada uso de suelo, evaluados en la zona de El Sombrero.

Tabla 5.13 Valores de Infiltración Potencial (S) en (mm). Condición III (Saturado de Humedad) El Sombrero – Estado Guárico.

Uso del Suelo	S (mm)
Vialidad (autopistas y carreteras asfaltadas)	16,213
Zonas Urbanas (edificaciones y urbanismos)	16,213

Continuación de la Tabla 5.13

Uso del Suelo	S (mm)
Zonas Verdes (bosques densos y bosques de galería)	71,641
Pecuario (pastizales y sabanas gramíneas arbustivas)	44,824
Agrícola (áreas de cultivos, o de pastos mejorados)	31,393

Partiendo de los valores de infiltración potencial (S), para cada uso de suelos, presentes en El Sombrero, se procedió a realizar los cálculos correspondientes a la lámina efectiva ( $I_{efec}$ ) de escurrimiento en (mm), utilizando la ecuación (3.12) para los diferentes valores de lluvias máximas anuales, de la Estación Climatológica El Sombrero. A continuación, a manera de ejemplo se realizaron los cálculos respectivos de las láminas efectivas de escurrimiento ( $Q \sim I_{efec}$ ), para la tormenta correspondiente al año 1965.

1. Vialidad (autopistas y carreteras asfaltadas).

$$Q = I_{efec} = \frac{(25,2 - 0,2 \times 16,213)^2}{(25,2 + 0,8 \times 16,213)} = 14,121 \text{ mm}$$

2. Zonas Urbanas (edificaciones y urbanismos).

$$Q = I_{efec} = \frac{(25,2 - 0,2 \times 16,213)^2}{(25,2 + 0,8 \times 16,213)} = 12,63 \text{ mm}$$

3. Zonas Verdes (bosques densos y bosques de galería).

$$Q = I_{efec} = \frac{(25,2 - 0,2 \times 71,641)^2}{(25,2 + 0,8 \times 71,641)} = 12,63 \text{ mm}$$

4. Zona Pecuaria (pastizales y sabanas gramíneas arbustivas).

$$Q = I_{\text{efec}} = \frac{(25,2 - 0,2 \times 44,824)^2}{(25,2 + 0,8 \times 44,824)} = 4,27 \text{ mm}$$

5. Zona Agrícola (áreas de cultivos, o de pastos mejorados).

$$Q = I_{\text{efec}} = \frac{(25,2 - 0,2 \times 31,393)^2}{(25,2 + 0,8 \times 31,393)} = 7,05 \text{ mm}$$

Para los años posteriores, pertenecientes al período climatológico de lluvias máximas considerado en la zona de estudio de El Sombrero del Estado Guárico, su cálculo es análogo al realizado para el año de 1965.

La Tabla 5.14, resume los valores de lámina efectiva ( $I_{\text{efec}}$ ) en (mm) calculados con las ecuaciones antes expuestas para los diferentes usos de suelo en El Sombrero, municipio Julián Mellado del estado Guárico, para cada uno de los años del período de estudio comprendido desde 1965-2000 (24 años), y Condición de Humedad Antecedente III (saturado de humedad), para los diferentes usos de los suelos determinados. Posteriormente se determina con la lámina efectiva el coeficiente de escurrimiento total para nuestra área de estudio.

Tabla 5.14 Valores de lámina efectiva de escurrimiento ( $I_{\text{efe}}$ ) en (mm) CN(III) El Sombrero, estado Guárico.

Año	Uso de Suelos				
	Vialidad	Zonas Urbanas	Zonas Verdes	Zona Pecuaria	Zona Agrícola
1965	12,55	12,55	1,41	4,27	7,05
1966	15,55	15,55	2,40	6,03	9,34
1967	17,96	17,96	3,32	7,54	11,24
1968	16,40	16,40	2,72	6,56	10,01
1969	47,58	47,58	20,08	30,01	37,04

Continuación de la Tabla 5.14

Año	Uso de Suelos				
	Vialidad	Zonas Urbanas	Zonas Verdes	Zona Pecuaria	Zona Agrícola
1970	33,88	33,88	11,36	18,96	24,71
1971	27,14	27,14	7,61	13,88	18,86
1972	19,09	19,09	3,79	8,27	12,15
1973	44,53	44,53	18,03	27,48	34,25
1975	18,74	18,74	3,64	8,05	11,86
1976	41,77	41,77	16,23	25,23	31,76
1977	19,09	19,09	3,79	8,27	12,15
1978	26,51	26,51	8,29	14,83	19,95
1979	14,12	14,12	1,90	5,17	8,24
1980	40,17	40,17	15,21	23,93	30,31
1981	12,55	12,55	1,41	4,27	7,05
1995	14,79	14,79	2,13	5,57	8,75
1996	23,34	23,34	5,71	11,16	15,64
1997	18,91	18,91	3,71	8,16	12,00
1998	24,24	24,24	6,14	11,80	16,40
1999	15,55	15,55	2,40	6,03	9,34
2000	9,36	9,36	0,58	2,59	4,75
<b>Promedio</b>	<b>23,44</b>	<b>23,36</b>	<b>6,45</b>	<b>11,73</b>	<b>16,04</b>

Luego se obtuvo un promedio espacial general de los resultados obtenidos en la Tabla 5.14, donde se consideran todos los usos de suelo y cuyo valor resultante es el siguiente:  $L_{efec} = 16,2033$  mm.

La Tabla 5.15, resume los valores de diseño de coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) y coeficiente de infiltración ( $C_{inf}$ ), para El Sombrero – estado Guárico.

Tabla 5.15 Valores de Coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) y de Infiltración ( $C_{inf}$ )

Año	$L_P$ (mm)	$L_{efec}$ (mm)	$C_e$	$C_{inf}$
1965	25,2	16,2033	64,56	35,44
1966	28,7		56,46	43,54
1967	31,5		51,44	48,56
1968	29,7		54,56	45,44
1969	63,6		25,48	74,52
1970	49,1		33,00	67,00
1971	41,8		38,76	61,24

Continuación de la Tabla 5.15

<b>Año</b>	<b>L<sub>P</sub> (mm)</b>	<b>L<sub>efec</sub> (mm)</b>	<b>C<sub>e</sub></b>	<b>C<sub>inf</sub></b>
1972	32,8	16,2033	49,40	50,60
1973	60,4		26,83	73,17
1975	32,4		50,01	49,99
1976	57,5		28,18	71,82
1977	32,8		49,40	50,60
1978	43,2		37,51	62,49
1979	27		60,01	39,99
1980	55,8		29,04	70,96
1990	15,4		64,56	35,44
1995	27,8		58,29	41,71
1996	37,6		43,09	56,91
1997	32,6		49,70	50,30
1998	38,6		41,98	58,02
1999	28,7		56,46	43,54
2000	21,1		76,79	23,21
			<b>Promedio</b>	<b>47,52</b>

Los resultados obtenidos por el Método del Número de Curva SCS (Soil Conservation Service de US), para la estimación del Coeficiente de Escurrimiento, fue un valor promedio espacial de  $C_e = 47,52\%$ , y por consiguiente un valor de Coeficiente de Infiltración de  $C_{inf} = 52,48\%$ , El cual se puede considerar dichos valores como aceptables, si consideramos que el suelo promedio espacial predominante en El Sombrero, es de Tipo B (Medianamente Bajo Potencial de Escurrimiento  $\rightarrow (25\% < 47,52 < 50\%)$ ).

#### 5.7.4 Método ponderado de escurrimiento

- 1) Se tomó en consideración el valor de infiltración potencial (S) en milímetros para cada uso de suelo, que plantea el Método del Número de Curva (CN), del Soil Conservation de los Estados Unidos, por su eficiencia técnica de cálculo.

- 2) Considerando el criterio hidrológico planteado por el asesor de la investigación de que la mayoría de pérdidas de agua en una zona determinada en nuestro país ocurren por infiltración [Lamina infiltrada (Linf)] fundamentalmente, mediante la utilización de la simple relación algebraica con respecto a la lámina de lluvia máxima de diseño, se estimó la lámina efectiva o de escurrimiento (Lefec) promedio espacial para cada uso de suelo, con la relación:  $L_{efec} = \text{Lluvia máxima de diseño} - L_{inf}$ .
- 3) Estimada la lámina de efectiva de escurrimiento para cada uso de suelo y cada año del período climatológico de lluvias máximas considerado, se estimó el coeficiente de escurrimiento promedio espacial para cada año y uso de suelo, mediante la Ecuación 3.8:

$$C_e = \frac{L_{efec}}{L_p} \quad (3.8)$$

Dónde:

$C_e$ : Coeficiente de escurrimiento promedio espacial anual en (%)

$L_{efec}$ : Lámina efectiva de escurrimiento anual en (mm)

$L_p$ : Lámina de lluvia máxima anual en (mm)

Luego de esto, finalmente se obtuvo un valor promedio espacial de coeficiente de escurrimiento para cada uso de suelo respectivamente.

- 4) Aplicando la Ecuación 3.13, se obtendrá el valor promedio espacial de coeficiente de escurrimiento generalizado, para toda la zona en estudio

La Tabla 5.18, muestra la estimación de la infiltración potencia (S) en (mm) para los diferentes usos de suelos de la zona de El Sombrero:

Tabla 5.16 Valores de Infiltración Potencial (S) en (mm), para cada uso de suelo de la zona de El Sombrero.

<b>Uso de Suelo</b>	<b>S en (mm)</b>
Vialidad	16,21
Urbanismos	16,21
Pecuario	44,82
Agrícola	31,39

La Tablas 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20, muestran los valores de lluvia máxima de diseño ( $P_{m\acute{a}x}$ ) en (mm), infiltración potencial (S) en (mm), lámina efectiva de escurrimiento de diseño en (mm), y el coeficiente de escurrimiento en (%), para cada año del período climatológico y su respectivo uso de suelo, considerado en el estudio:

Tabla 5.17 Valores de valores de lluvia máxima de diseño ( $P_{m\acute{a}x}$ ) en (mm), infiltración potencial (S) en (mm), lámina efectiva de escurrimiento de diseño en (mm), y el coeficiente de escurrimiento en (%), para cada año del período climatológico.

Tabla 5.17 Valores de coeficiente de lámina efectiva ( $L_{efec}$ ) y coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ). Uso de Suelo: Vialidad.

<b>Año</b>	<b><math>P_{m\acute{a}x}</math> (mm)</b>	<b>S (mm)</b>	<b><math>L_{efec}</math> (mm)</b>	<b><math>C_e</math> (%)</b>
1965	25,2	16,21	8,99	35,7
1966	28,7	16,21	12,49	43,5
1967	31,5	16,21	15,29	48,5
1968	29,7	16,21	13,49	47,5
1969	63,6	16,21	47,39	74,5
1970	49,1	16,21	32,89	67
1971	41,8	16,21	25,59	61,2
1972	32,8	16,21	16,59	50,6
1973	60,4	16,21	44,19	73,1
1974	19,1	16,21	2,89	15,1
1975	32,4	16,21	16,19	50
1976	57,5	16,21	41,29	71,8

Continuación de la Tabla 5.17

<b>Año</b>	<b>Pmáx(mm)</b>	<b>S (mm)</b>	<b>L<sub>efec</sub> (mm)</b>	<b>Ce %</b>
1977	32,8	16,21	16,59	50,6
1978	43,2	16,21	26,99	62,5
1979	27,0	16,21	10,79	40
1980	55,8	16,21	39,59	70,9
1981	25,1	16,21	8,89	35,4
1990	15,4	16,21	NO APLICA	NO APLICA
1995	27,8	16,21	11,59	41,7
1996	37,6	16,21	21,39	56,9
1997	32,6	16,21	16,39	50,3
1998	38,6	16,21	22,39	58
1999	28,7	16,21	12,49	43,5
2000	21,1	16,21	4,89	23,2
			<b>Promedio</b>	<b>50,9</b>

Tabla 5.18 Valores de coeficiente de lámina efectiva ( $L_{efec}$ ) y coeficiente de escurrimiento (Ce). Uso de Suelo: Urbanismo.

<b>Año</b>	<b>Pmáx(mm)</b>	<b>S (mm)</b>	<b>L<sub>efec</sub> (mm)</b>	<b>Ce (%)</b>
1965	25,2	16,21	8,99	35,7
1966	28,7	16,21	12,49	43,5
1967	31,5	16,21	15,29	48,5
1968	29,7	16,21	13,49	47,5
1969	63,6	16,21	47,39	74,5
1970	49,1	16,21	32,89	67
1971	41,8	16,21	25,59	61,2
1972	32,8	16,21	16,59	50,6
1973	60,4	16,21	44,19	73,1
1974	19,1	16,21	2,89	15,1
1975	32,4	16,21	16,19	50
1976	57,5	16,21	41,29	71,8
1977	32,8	16,21	16,59	50,6
1978	43,2	16,21	26,99	62,5
1979	27,0	16,21	10,79	40
1980	55,8	16,21	39,59	70,9
1981	25,1	16,21	8,89	35,4
1990	15,4	16,21	NO APLICA	NO APLICA
1995	27,8	16,21	11,59	41,7
1996	37,6	16,21	21,39	56,9

Continuación de la Tabla 5.18

<b>Año</b>	<b>P<sub>máx</sub>(mm)</b>	<b>S (mm)</b>	<b>L<sub>efec</sub> (mm)</b>	<b>Ce (%)</b>
1997	32,6	16,21	16,39	50,3
1998	38,6	16,21	22,39	58
1999	28,7	16,21	12,49	43,5
2000	21,1	16,21	4,89	23,2
			<b>Promedio</b>	<b>50,9</b>

Tabla 5.19 Valores de coeficiente de lámina efectiva (**L<sub>efec</sub>**) y coeficiente de escurrimiento (**Ce**). Uso de Suelo: Pecuario

<b>Año</b>	<b>P<sub>máx</sub>(mm)</b>	<b>S (mm)</b>	<b>L<sub>efec</sub> (mm)</b>	<b>Ce %</b>
1965	25,2	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1966	28,7	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1967	31,5	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1968	29,7	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1969	63,6	44,82	18,78	28,2
1970	49,1	44,82	4,28	8,7
1971	41,8	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1972	32,8	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1973	60,4	44,82	15,58	25,8
1974	19,1	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1975	32,4	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1976	57,5	44,82	12,68	22,1
1977	32,8	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1978	43,2	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1979	27,0	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1980	55,8	44,82	10,98	19,7
1981	25,1	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1990	15,4	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1995	27,8	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1996	37,6	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1997	32,6	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1998	38,6	44,82	NO APLICA	NO APLICA
1999	28,7	44,82	NO APLICA	NO APLICA
2000	21,1	44,82	NO APLICA	NO APLICA
			<b>Promedio</b>	<b>20,9</b>

Tabla 5.20 Valores de coeficiente de lámina efectiva ( $L_{efec}$ ) y coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ). Uso de Suelo: Agrícola.

Año	P <sub>máx</sub> (mm)	S (mm)	L <sub>efec</sub> (mm)	C <sub>e</sub> %
1965	25,2	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1966	28,7	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1967	31,5	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1968	29,7	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1969	63,6	31,39	32,21	50,6
1970	49,1	31,39	17,71	36,1
1971	41,8	31,39	10,41	24,9
1972	32,8	31,39	1,41	4,3
1973	60,4	31,39	29,01	48
1974	19,1	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1975	32,4	31,39	1,01	3,1
1976	57,5	31,39	26,11	45,4
1977	32,8	31,39	1,41	4,3
1978	43,2	31,39	11,81	27,3
1979	27,0	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1980	55,8	31,39	24,41	43,7
1981	25,1	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1990	15,4	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1995	27,8	31,39	NO APLICA	NO APLICA
1996	37,6	31,39	6,21	16,5
1997	32,6	31,39	1,21	3,7
1998	38,6	31,39	7,21	18,7
1999	28,7	31,39	NO APLICA	NO APLICA
2000	21,1	31,39	NO APLICA	NO APLICA
			<b>Promedio</b>	<b>25,1</b>

La Tabla 5.21, muestra en resumen los valores de coeficiente de escurrimiento y de infiltración promedio espacial en (%), para cada uso de suelo con su respectivo valor de área en hectáreas (has.), de la zona de El Sombrero:

Tabla 5.21 Valores de Coeficiente de Escurrimiento Promedio Espacial, según el uso de suelo y su superficie de hectáreas (has).

Uso de Suelo	C <sub>e</sub> (%)	C <sub>inf</sub> (%)	Área (has)
Vialidad	50,9	49,1	55,887
Zona Urbana	50,9	49,1	1207,394

Continuación de la Tabla 5.21

Uso de Suelo	Ce (%)	C <sub>inf</sub> (%)	Área (has)
Pecuario	20,9	79,1	229,592
Agrícola	25,1	74,9	331,630

La aplicación de la Ecuación 3.13, muestra el resultado final del valor de coeficiente de escurrimiento promedio espacial estimado para la zona de El Sombrero, por el Método Ponderado de escurrimiento.

$$\bar{C}_e = \frac{\sum C_{ei} \times a_i}{\text{Área Total}}$$

$$\bar{C}_e = \frac{[(50,9 \times 55,887) + (50,9 \times 1207,394) + (20,9 \times 229,592) + (25,1 \times 331,630)]}{1824,503}$$

$$\bar{C}_e = 27,8 \%$$

La Tabla 5.22, resume todos los valores de diseño de los coeficientes de escurrimiento y de infiltración estimados definitivos, para la zona de El Sombrero.

Tabla 5.22 Valores estimados de coeficiente de escurrimiento y de infiltración, El Sombrero, municipio Julián Mellado, estado Guárico.

Métodos	Ce (%)	C <sub>inf</sub> (%)
Liu-Wang	29,31	70,69
Cartaya (Liu-Wang, modificado)	41,91	58,09
Número De Curva	47,52	52,48
Ponderado	27,80	72,20
<b>Promedio</b>	<b>44,72</b>	<b>55,28</b>

Finalmente, del análisis e interpretación conjunta de todos los valores estimados de coeficiente de escurrimiento y de infiltración para la zona de El Sombrero,

Municipio Julián Mellado, del estado Guárico, se considera que los resultados obtenidos por los métodos de Cartaya (Liu-Wang, modificado), y Número de Curva (CN), son los más aceptables debido a: 1) El Método de Cartaya, verificó el criterio de regionalización por correlación estadística, para el estado Guárico de manera óptima y eficiente, al estimar el valor de coeficiente de escurrimiento dentro del rango que define el intervalo de fluctuación del mismo, para el Tipo de Suelo B: Medianamente Bajo Potencial de Escurrimiento  $\rightarrow (25\% < Ce < 50\%)$ , sustituyendo queda:  $(25\% < 41,91\% < 50\%)$ . 2) El Método del Número de Curva (CN), mediante su razón técnica filosófica, basada en el complejo sistema suelo-cobertura vegetal, y el conjunto de tablas que lo conforman, logro evaluar de manera eficiente y objetiva, acertadamente las características físico-naturales que identifican a la zona de El Sombrero, arrojando un valor estimado de coeficiente de escurrimiento promedio espacial igual a  $Ce = 47,52\%$ , que cumple también con el rango de fluctuación del mismo que define el tipo de suelo en la localidad estudiada, y además ratifica científicamente el resultado obtenido por Cartaya; La Figura 5.53, refleja esta interpretación.

Vale destacar que los resultados arrojados por los métodos de Liu-Wang y Ponderado de Escurrimiento, fueron descartados, a pesar de que dichos valores se encuentran dentro del rango de fluctuación del coeficiente de escurrimiento, para el tipo de suelo B, por el grado de incertidumbre estructural que presentan los mismos.

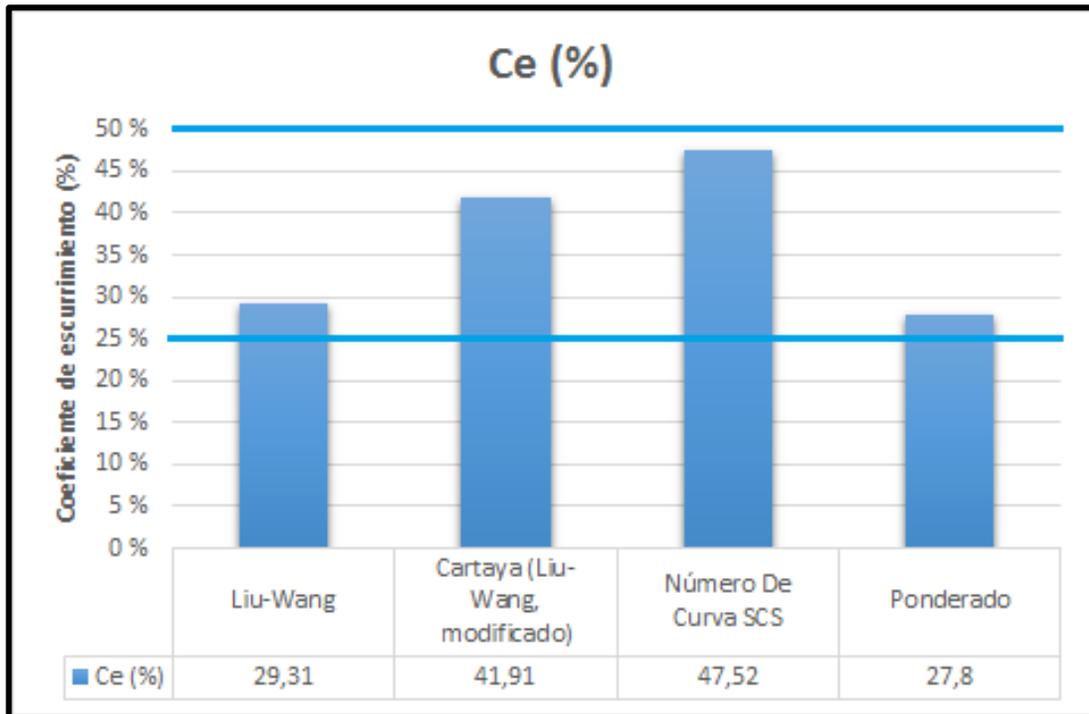


Figura 5.53 Valores pertenecientes al coeficiente de escurrimiento para los métodos: Liu-Wang, Cartaya (Liu-Wang modificado), Número de Curva SCS (Soil Conservation de U.S) y Ponderado de Ecurrimiento.

Finalmente se tomó como valor estimado de coeficiente de escurrimiento (Ce) promedio espacial para la zona de El Sombrero, al promedio de los valores de los métodos de Cartaya y el Número de Curva (CN), siendo este igual a:  $Ce = 44,72\%$ , y por complemento  $C_{inf} = 55,28\%$ .

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

A continuación, se exponen las conclusiones que se derivan del análisis de los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo de investigación. Estos análisis responden al cumplimiento de los objetivos principales que han guiado el desarrollo del trabajo de grado, dirigidos fundamentalmente a la Estimación del Coeficiente de Escurrimiento El de Sombrero, Municipio Julián Mellado del Estado Guárico.

1. El clima de la zona de El Sombrero se clasifica como: Clima Lluvioso – Cálido de Tipo A, Sub-Tipo: Aw<sup>i</sup>, correspondiente a Sabanas (herbazales) y Bosques Tropófilos semi-secos.
2. La geología de El Sombrero pertenece a la Formación Chaguaramas, la cual suprayace en contacto inferior concordante y transicional; sobre la formación Roblecito, perteneciente al Oligoceno tardío – Mioceno medio, con un tiempo geológico que se ubica en el Eón Fanerozoico, Era Cenozoica, Período Neogeno, Época Superior y piso geológico: Chattiense - Serravalliense ( $28.1 \pm 13,82$  Ma).
3. La geomorfología se caracteriza fundamentalmente por unidad de Valles Aluviales, cuyo pendiente promedio espacial oscila entre 0 a 3%.
4. Los suelos de El Sombrero, se clasifican en el Orden: ENTISOL que son suelos muy recientes, usualmente de aluviones de ríos o eólico y no muestran ningún desarrollo definido de perfiles, y Sub-Orden: FLUVENTS, caracterizados por suelos de planicies aluviales de textura media a fina donde predomina un suelo de Tipo B (Moderadamente Bajo Potencial de Escurrimiento), al cual le asociamos el

siguiente intervalo de escurrimiento ( $25\% < C_e < 50\%$ ), con ratas de infiltración moderadas cuando muy húmedos, medianamente drenados o bien drenados. y desde el punto de vista de textura granulométrica promedio espacial corresponde a un suelo arenoarcillofrancoso (aAF).

5. La vegetación promedio espacial de El Sombrero, corresponde a un ecosistema típico de Sabanas Arbustivas Graminosas, con Bosques de Galería, y Tierras Agropecuarias.
6. El Sombrero esta insertada geográficamente en la Cuenca Hidrográfica del Río Orinoco, y en la Provincia Hidrogeológica de los Llanos. Su caracterización hidrogeológica (Mapa Hidrogeológico de Venezuela) está sobre de una geología promedio espacial de Rellenos Pleistocenicicos (Terrazas, etc.), de rocas clásticas consolidadas y no consolidadas, con acuíferos de material poroso saturado fundamentalmente arenoso, de permeabilidad media a alta, y frecuentemente de alto rendimiento.
7. Los resultados obtenidos de coeficiente de escurrimiento por todos los métodos aplicados en esta investigación, se resumen en la siguiente tabla:

<b>Métodos</b>	<b>C<sub>e</sub> (%)</b>	<b>C<sub>inf</sub> (%)</b>
Liu-Wang	29,31	70,69
Cartaya (Liu-Wang, modificado)	41,91	58,09
Número De Curva	47,52	52,48
Ponderado	27,80	72,20

8. De la interpretación conjunta de todos los valores estimados de coeficiente de escurrimiento y por complemento de infiltración para la zona de El Sombrero, Municipio Julián Mellado, del estado Guárico, se considera que los resultados obtenidos por los métodos de Cartaya (Liu-Wang, modificado), y Número de Curva (CN), son los más aceptables debido a: 1) El Método de Cartaya, verificó el criterio de regionalización por correlación estadística, para el estado Guárico de

manera óptima y eficiente, al estimar el valor de coeficiente de escurrimiento dentro del rango que define el intervalo de fluctuación del mismo, para el Tipo de Suelo B: Medianamente Bajo Potencial de Escurrimiento  $\rightarrow (25\% < C_e < 50\%)$ , sustituyendo queda:  $(25\% < 41,91\% < 50\%)$ . 2) El Método del Número de Curva (CN), mediante su razón técnica filosófica, basada en el complejo sistema suelo-cobertura vegetal, y el conjunto de tablas que lo conforman, logro evaluar de manera eficiente y objetiva, acertadamente las características físico-naturales que identifican a la zona de El Sombrero, arrojando un valor estimado de coeficiente de escurrimiento promedio espacial igual a  $C_e = 47,52\%$ , que cumple también con el rango de fluctuación del mismo que define el tipo de suelo en la localidad estudiada, y además ratifica científicamente el resultado obtenido por Cartaya. Vale destacar que los resultados arrojados por los métodos de Liu-Wang y Ponderado de Escurrimiento, fueron descartados, a pesar de que dichos valores se encuentran dentro del rango de fluctuación del coeficiente de escurrimiento, para el tipo de suelo B, por el grado de incertidumbre estructural que presentan los mismos.

Finalmente se tomó como valor estimado de coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) promedio espacial para la zona de El Sombrero, al promedio de los valores de los métodos de Cartaya y el Número de Curva (CN), siendo este igual a:  $C_e = 44,72\%$ , y por complemento  $C_{inf} = 55,28\%$ .

## **Recomendaciones**

En vista de los resultados alcanzados con el análisis realizado en este trabajo, se dan a continuación las siguientes recomendaciones para futuros trabajos de investigación relacionados con este parámetro, el cual se utiliza para diseñar los sistemas de drenajes urbanos, que controlen las aguas pluviales en excedencia, tanto en las áreas urbanas como en sus alrededores.

1. Se recomienda instar al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), con sede en Caracas, para que agilice la medición, recolección, ordenación y publicación (físico y en digital) de los datos hidrometeorológicos que permitan en un futuro, la realización de estudios similares en otras zonas de estudio.
2. Se recomienda instar a los organismos públicos y privados, que se relacionen con el estudio de suelos en el país, a diseñar mapas de uso de suelos para todo el país, con el fin de hacer operativa y eficiente su uso en estudios similares.
3. Se recomienda emular el Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana (PIRNRG), realizado por la CVG-Técnica Minera, para todo el país, debido a su importancia técnica en la futura ordenación del territorio nacional para su aplicación en una gama de proyectos técnico-científicos que harán de Venezuela un país potencia.
4. Que se sigan desarrollando más trabajos de investigación en esta línea, para mejorar el diseño del sistema de drenaje de las ciudades, y así evitar posibles pérdidas materiales y humanas en el territorio venezolano.

5. Se recomienda la aplicación inmediata de este trabajo de investigación en las áreas con alto riesgo hidrometeorológico para la determinación del coeficiente de escurrimiento y así conocer las incidencias que tiene esta variable hidráulica en las características naturales de estas zonas, ya que dependiendo de su magnitud pueden producir situaciones de contingencia derivadas en inundaciones.

## REFERENCIAS

Aparicio, F. (1992) **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Grupo Noriega Editores, Argentina, pp 136-139.

Urbina, G y Flores, K (2017) **ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE SAN JUAN DE LOS MORROS, MUNICIPIO JUAN GERMÁN ROSCIO DEL ESTADO GUÁRICO**. Venezuela.

Arias, F. (2012) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Sexta Edición, editorial Episteme, C.A, pp 21-43.

Chow, Ven Te. (1964) **PRINCIPIOS DE HIDROGEOGRAFÍA**. 03 de Octubre del 2016, [<http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp5.pdf>].

Gamboa, J. (2008) **TÉRMINOS METEOROLÓGICOS**. Servicio Meteorológico Nacional, México. 03 de Octubre del 2016, [<http://www.rcadena.com/dp/teoria.htm>].

González de Juana, C.; Iturralde, J.M; Picard, X. (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETRÓLIFERAS**. Ediciones Foninves, Tomo II, pp 622-623.

Guevara, E. y Cartaya, H. (1991) **HIDROLOGÍA. UNA INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA HIDROLÓGICA APLICADA**. Ediciones GUECA, Valencia, Venezuela, pp 131-138.

Linsley, R. Kohler, M. y Paulus, J. (1977) **HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS**. Edición Mcgraw-Hill Latinoamerica, Tomo I.

Hurtado de Barrera, J. (2000) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Edición SYPAL, pp 54-72.

Instituto Nacional de Estadística (2011). **INFORME GEOAMBIENTAL 2011, ESTADO GUÁRICO**. Gerencia de Estadísticas Ambientales.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (2016) **CLIMATOLOGIA DE EL SOMBRERO**, 18 de Agosto del 2016, [[http://www.inameh.gob.ve/mensual/info\\_serial\\_climatologica\\_busqueda\\_reporte.php](http://www.inameh.gob.ve/mensual/info_serial_climatologica_busqueda_reporte.php)].

Ministerio de Energía y Minas (1997). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO**. Dirección General Sectorial de Servigeomin, Dirección de Geología. Tercera Edición, M.J editores c.a. Tomo I, pp 163-164.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos. (1972) **MAPA HIDROGEOLÓGICO DE VENEZUELA**. Dirección de Geología. División de Hidrogeología.

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). (1985) **ATLAS DE LA VEGETACIÓN DE VENEZUELA**. Dirección Suelos, Vegetación y Fauna, Primera Edición.

Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas. (2007) **MAPA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE VENEZUELA**. Dirección de Cuencas Hidrográficas. Caracas, Venezuela. 24 de Septiembre de 2016, [<http://sistemajpii.blogspot.com/2012/10/cuencas-hidrograficas-de-venezuela.html>].

Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas. (2007) **MAPA DE PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS DE VENEZUELA**. Dirección de Provincias Hidrogeológicas. Caracas, Venezuela. 24 de Septiembre de 2016, [<http://revistavoces.org.ve/docu/voces5-art6.pdf>].

Monsalve, V. (2000) **APUNTES DE HIDROLOGÍA BÁSICA**.

Bolinaga I., Juan J. (1974). **DRENAJE URBANO**., Instituto Nacional de Obras Sanitarias, (INOS) Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Caracas, Venezuela, pp 148-149.

Ovalles, Y. (2008) **REVISTA FORESTAL VENEZOLANA**. Venezuela, pp 241-252.

Sabino, C. (1992) **EL PROCESO DE INVESTIGACION**. Ed. Panapo, caracas. Pp 106-112.

Wikipedia. (2016) **EL SOMBRERO**. 28 de Octubre del 2016, [[https://es.wikipedia.org/wiki/El\\_Sombrero](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Sombrero)]

Page, L. E., y Brin, S. M. (2016) **MAPA DE EL SOMBRERO DEL ESTADO GUÁRICO**. Google Maps. 22 de Septiembre de 2016, [<https://www.google.co.ve/maps/place/El+Sombrero,+Gu%C3%A1rico/@9.3881177,-67.0719463,15z/data=!3m1!4m5!3m4!1s0x8dd56b868b9ec9bb:0xbfe7fc6e86fbcfd8!8m2!3d9.3887516!4d-67.0613528>].

## **APÉNDICES**

**APÉNDICE A**  
**FOTOGRAFÍAS DE CAMPO**



A.1 Entrada de El Sombrero, troncal 13



A.2 Vía El Sombrero, carretera nacional.



A.3 Puente de El Sombrero



A.4 Río Guárico, parte derecha del puente de El Sombrero



A.5 Río Guárico, parte izquierda del puente de El Sombrero



A.6 Vegetación de El Sombrero



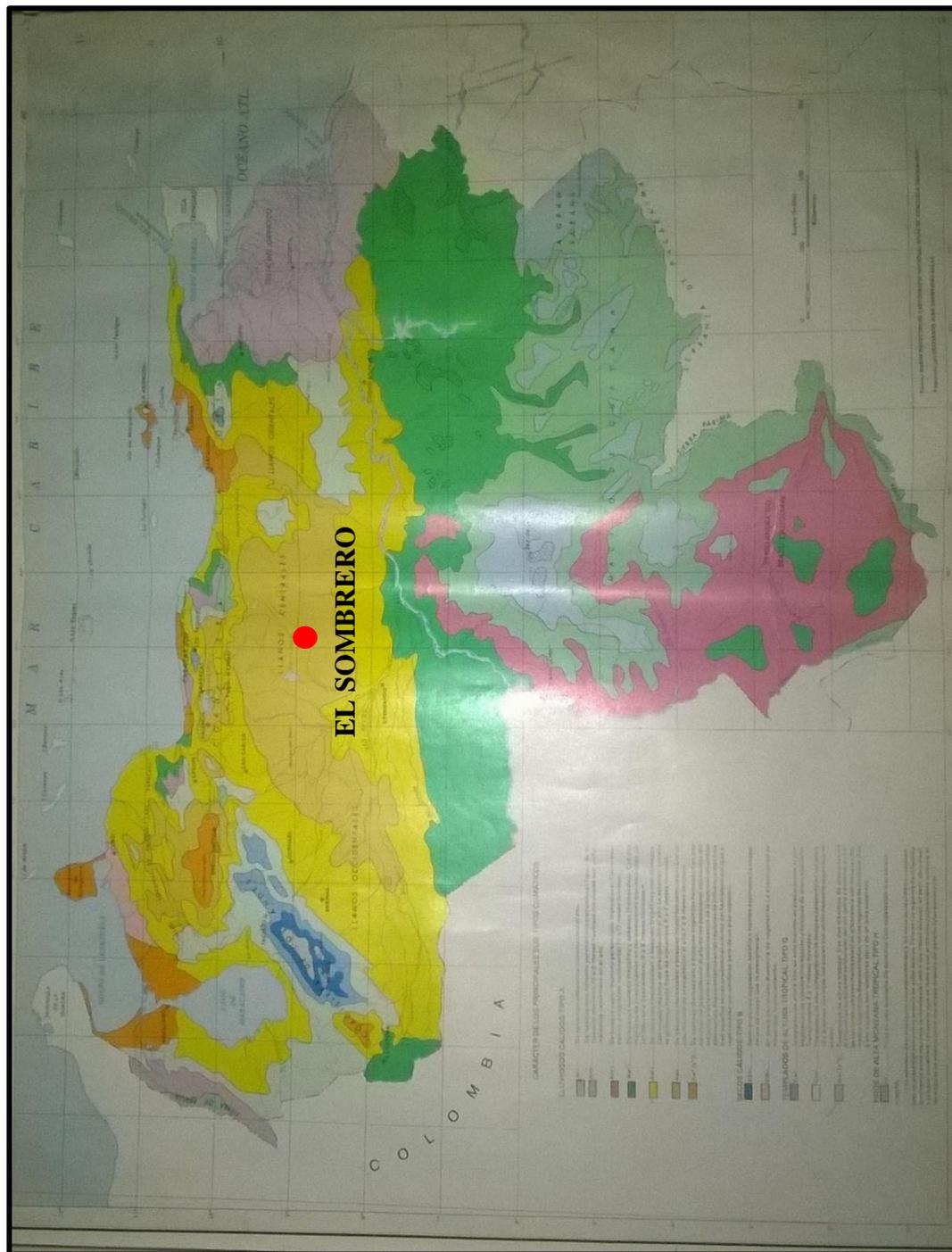
A.7 Suelo de El Sombrero.



A.8 Plaza Bolívar, centro de El Sombrero (Estado Guárico).

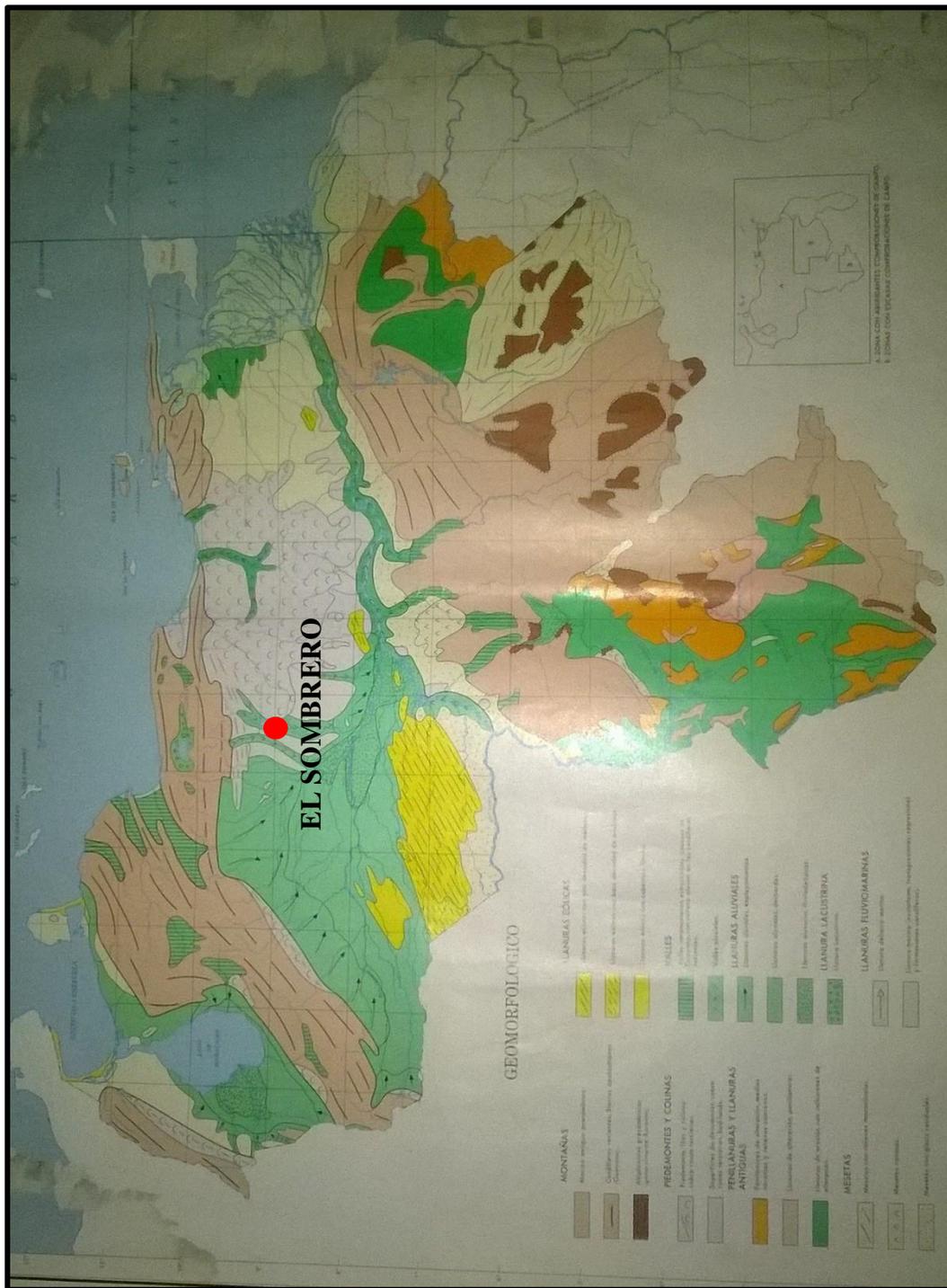
**APÉNDICE B**  
**MAPAS TEMÁTICOS DE VENEZUEL**

### B.1 Mapa Climatológico de Venezuela

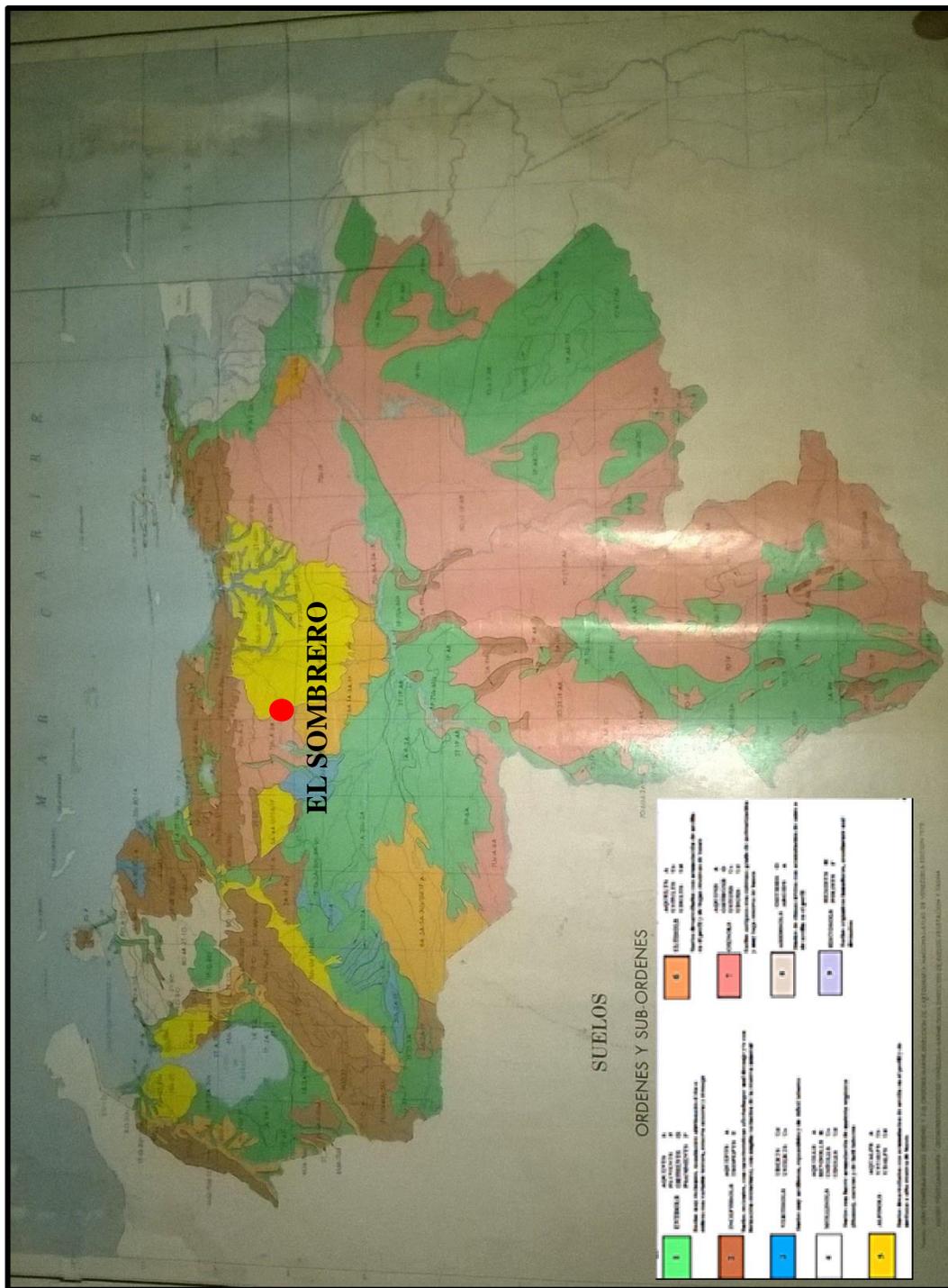




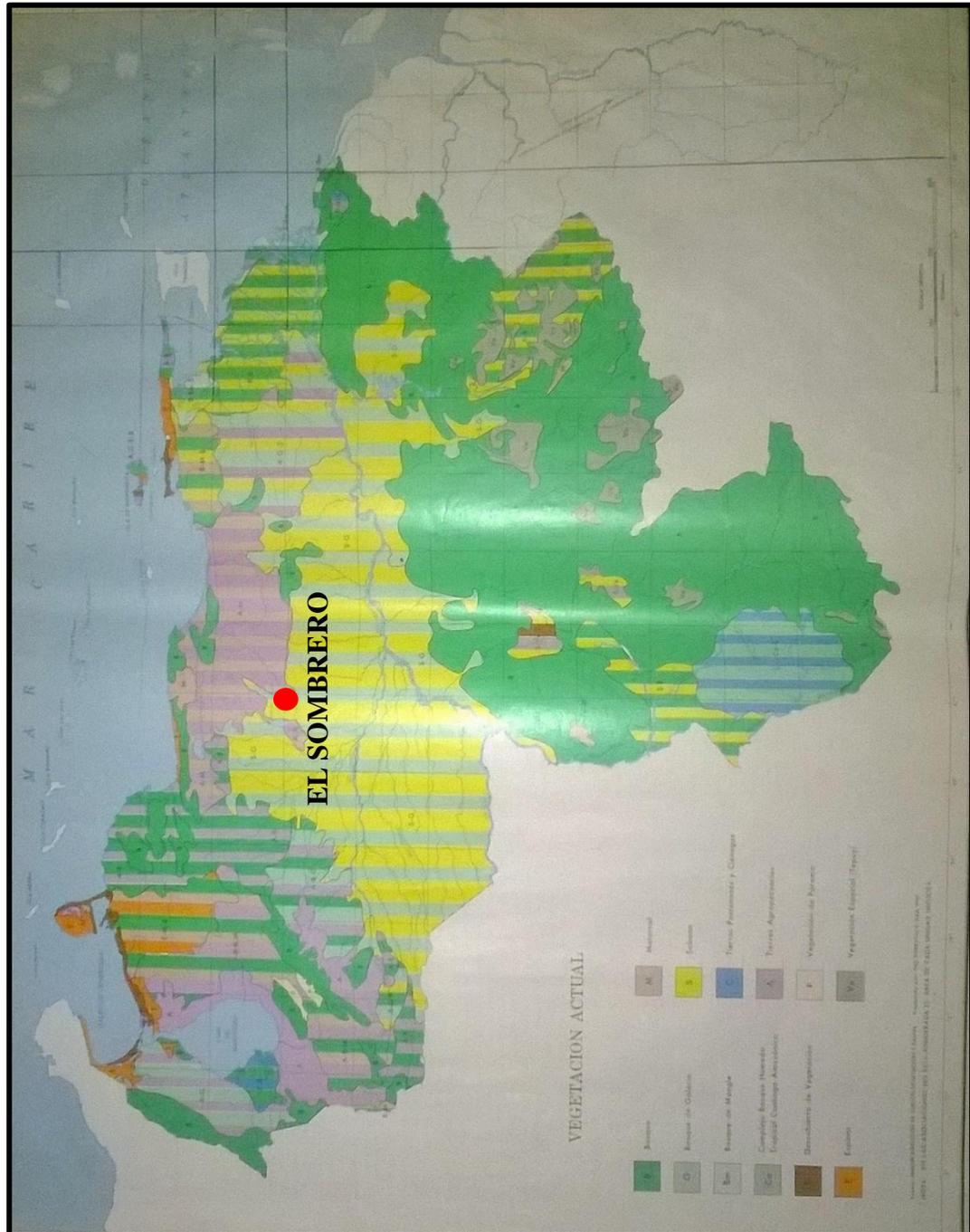
B.3 Mapa Geomorfológica de Venezuela



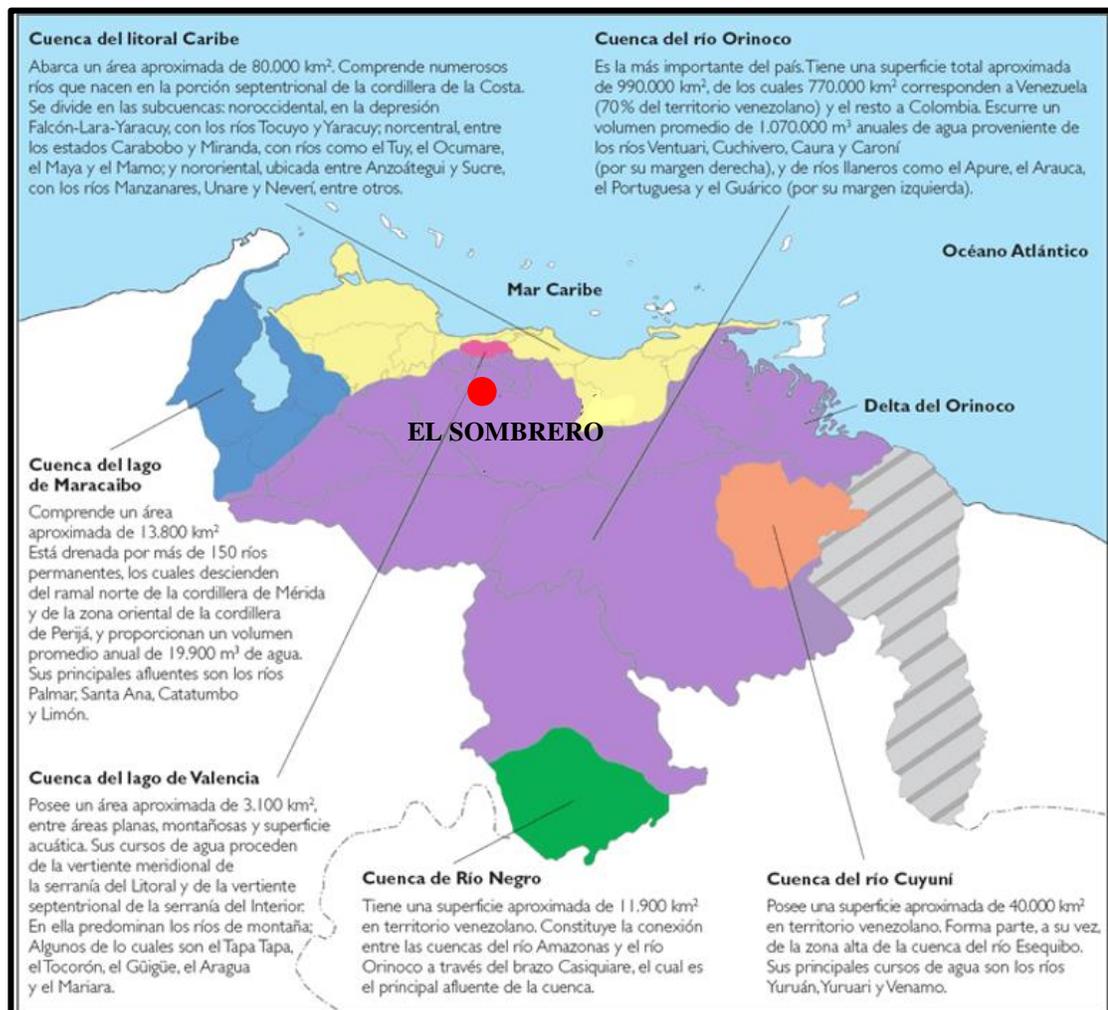
B.4 Mapa de Suelos de Venezuela



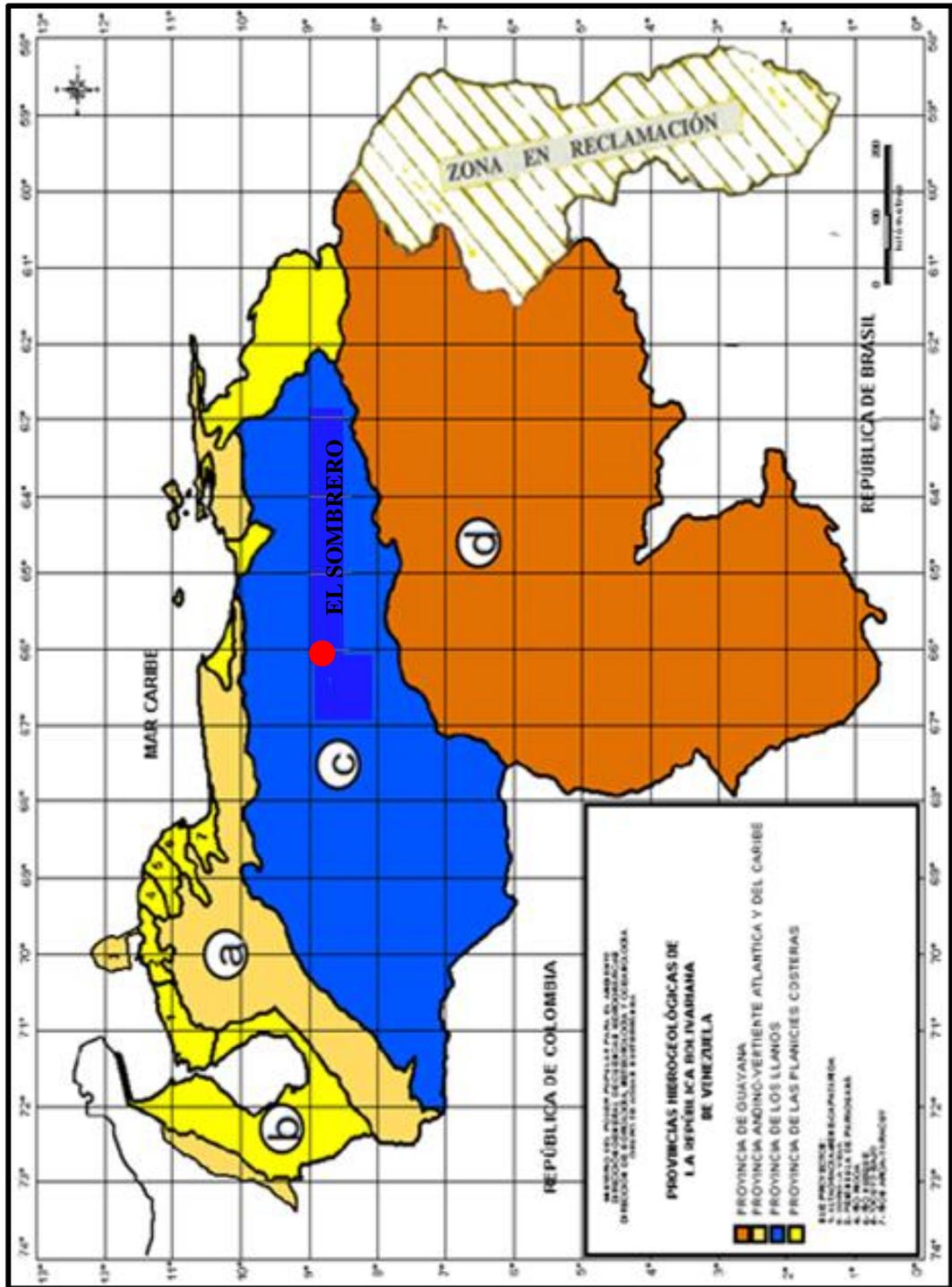
### B.5 Mapa Vegetación de Venezuela



## B.6 Mapa de Cuencas Hidrográficas de Venezuela



B.7 Mapa de Provincias Hidrogeograficas





**APÉNDICE C**  
**DATOS CLIMATOLÓGICOS**

C.1 Precipitación Media Mensual en (mm), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, 2017). Estación Climatológica: El Sombrero. Serial: 2469.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1943	-	-	-	120.0	181.0	161.0	311.0	264.0	100.0	57.0	.0	.0	-
1944	.0	.0	.0	113.0	320.0	112.0	322.0	144.0	117.0	65.0	20.0	20.0	1233.0
1945	19.0	.0	10.0	60.0	150.0	270.0	195.0	213.0	129.0	90.0	3.0	4.0	1143.0
1946	.0	.0	.0	45.0	108.0	137.0	181.0	258.0	122.0	181.0	91.0	131.0	1254.0
1947	.0	.0	.0	13.0	38.0	126.0	419.0	143.0	143.0	100.0	40.0	.0	1022.0
1948	.0	1.0	.0	38.0	158.0	177.0	328.0	106.0	67.0	73.0	140.0	100.0	1188.0
1949	.0	.0	.0	.0	70.0	190.0	80.0	263.0	165.0	190.0	60.0	77.0	1095.0
1950	20.0	.0	.0	40.0	154.0	260.0	220.0	200.0	140.0	136.0	198.0	5.0	1373.0
1951	4.0	26.0	19.0	69.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	.0	.0	.0	99.0	22.0	208.0	244.0	147.0	105.0	53.0	90.0	.0	968.0
1953	.0	.0	.0	53.0	182.0	209.0	224.0	231.0	121.0	41.0	31.0	10.0	1102.0
1954	.0	.0	.0	88.0	95.0	168.0	209.0	266.0	132.0	214.0	52.0	37.0	1261.0
1955	2.0	1.0	.0	48.0	101.0	186.0	151.0	153.0	253.0	155.0	46.0	16.0	1112.0
1956	6.0	3.0	34.0	20.0	92.0	135.0	150.0	241.0	177.0	132.0	5.0	14.0	1009.0
1957	2.0	.0	.0	45.0	40.0	242.0	203.0	142.0	131.0	169.0	100.0	3.0	1077.0
1958	.0	.0	.0	10.6	196.7	288.3	208.6	118.1	132.5	133.0	28.1	1.5	1117.4
1959	.0	.0	16.4	1.3	135.7	58.4	138.5	102.6	142.4	57.9	86.4	25.0	764.6
1960	.1	.0	.0	30.6	188.6	336.5	194.6	216.6	136.0	56.6	82.2	21.5	1263.3
1961	.0	.1	.0	.1	20.8	105.8	239.7	201.2	130.9	92.9	51.6	13.2	856.3
1962	.7	.0	34.2	.0	139.7	309.6	184.8	158.0	50.7	138.4	38.9	9.4	1064.4
1963	2.0	.3	.4	151.3	340.4	224.4	185.7	186.1	111.3	134.5	133.7	3.0	1473.1
1964	.0	.0	1.3	44.2	119.0	231.9	303.8	132.1	102.0	45.7	55.7	1.1	1036.8
1965	12.0	4.0	.0	3.7	127.4	173.7	248.4	240.3	108.4	76.0	95.6	3.4	1092.9
1966	.8	3.0	.2	3.2	149.7	284.3	235.1	155.4	116.6	40.9	171.0	120.0	1280.2
1967	7.7	.0	.3	35.3	76.6	215.5	183.4	122.0	119.1	220.6	34.2	1.5	1016.2
1968	.0	.7	1.1	53.3	110.7	254.8	148.3	87.3	156.1	42.6	8.5	4.6	868.0
1969	1.9	6.5	11.8	84.7	166.2	424.3	243.8	308.5	90.4	265.4	108.7	8.7	1720.9
1970	21.6	5.4	.8	2.7	171.5	154.1	238.9	260.3	71.0	78.4	65.4	5.3	1075.0

1971	9.7	.7	.5	35.2	228.8	85.9	74.6	51.8	114.7	104.0	42.6	.1	748.6
1972	8.8	.0	18.9	16.7	91.4	49.4	134.3	37.9	121.0	117.4	74.1	5.5	675.4
1973	.0	.0	.0	41.4	9.4	89.7	-	183.2	272.1	164.2	131.3	3.2	-
1974	2.2	.0	.0	.0	66.0	32.4	341.7	106.2	83.4	114.0	25.6	4.5	776.0
1975	.3	.0	.0	.0	80.8	178.5	49.9	201.6	80.2	164.2	60.5	4.9	820.9
1976	2.4	.4	3.0	61.4	71.2	288.6	84.6	163.7	54.8	219.9	18.1	10.1	978.2
1977	.0	.0	1.8	.4	199.9	155.6	85.4	171.3	92.6	60.4	90.2	1.7	859.3
1978	.0	.0	.0	194.4	120.1	222.2	147.7	200.2	119.1	116.3	15.2	2.2	1137.4
1979	.0	.0	23.4	47.1	102.1	223.8	69.1	153.3	93.1	45.5	8.5	12.8	778.7
1980	.0	.0	8.0	53.4	188.0	170.3	250.7	204.5	105.2	77.3	27.0	.0	1084.4
1981	.0	55.3	.0	89.1	183.4	151.3	257.8	104.8	194.2	40.1	.0	2.7	1078.7
1982	11.5	.0	.0	131.1	370.2	79.3	110.4	80.0	103.5	95.2	41.3	10.5	1033.0
1983	2.4	.0	.0	147.4	185.1	155.2	133.3	187.2	80.6	127.4	20.1	7.8	1046.5
1984	.0	.0	.0	.0	.0	*	*165.9	*	*	*360	.0	.0	525.9
1985	.0	.0	.0	.0	125.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	.0	.0	*	*	*	*627.5	123.8	130.8	*	*185.8	3.6	-
1987	.0	.0	2.6	19.5	*	*431.0	86.7	*	*329.3	43.3	*	*195.0	1107.4
1988	.7	.0	.0	.0	*	*	*	*	*841.2	83.9	*	*53.9	979.7
1989	.3	.0	.0	.0	*	*187.9	239.6	116.2	*	*228.7	37.5	.0	810.2
1990	9.3	.0	.0	40.6	61.0	309.9	204.5	112.4	84.1	70.0	47.1	4.6	943.5
1991	.0	.0	44.8	16.5	28.2	96.2	111.7	270.9	143.6	15.6	57.7	.0	785.2
1992	.0	.7	.0	28.2	260.4	215.4	260.7	161.7	119.3	22.1	118.8	10.2	1197.5
1993	.0	.0	.7	60.9	87.8	213.6	102.6	183.5	107.7	15.6	20.9	2.8	796.1
1994	.0	.0	.0	69.0	68.1	140.8	108.8	101.7	34.5	75.0	28.8	4.4	631.1
1995	9.0	.0	33.1	21.5	71.9	169.9	213.0	113.1	59.9	214.2	18.3	.0	923.9
1996	.0	.0	.0	.0	102.5	166.5	233.5	234.2	170.1	84.6	25.8	57.1	1074.3
1997	2.4	.6	-	5.0	194.4	271.7	265.1	61.2	36.5	72.4	13.0	.4	-
1998	.0	.0	.0	39.3	153.7	165.0	236.2	31.6	118.7	19.5	13.0	8.0	785.0
2000	.0	.0	17.6	7.1	74.4	51.2	86.6	169.4	104.5	93.5	-	-	-
2001	.0	.0	.0	17.7	59.2	98.1	114.3	130.2	*	*176.3	1.5	47.2	644.5
2002	3.6	.0	.0	53.2	*	*316.8	*	*331.9	*	*242.5	30.8	7.9	986.7

C.2 Evaporación Media Mensual en (mm), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, 2017). Estación Climatológica: El Sombrero. Serial: 2469

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1953	190.1	213.8	269.2	232.1	132.5	114.1	116.4	118.6	-	-	104.7	175.6	-
1954	227.0	250.4	308.2	165.4	164.1	100.1	94.3	104.0	126.5	122.5	130.1	-	-
1956	-	-	-	255.9	196.1	152.9	138.6	123.0	-	123.0	149.5	144.7	-
1957	-	228.0	285.7	278.6	191.3	108.3	137.0	135.9	130.2	133.8	135.7	173.7	-
1958	226.1	246.3	336.9	286.0	150.2	109.6	140.4	124.2	153.3	169.6	179.7	216.2	2338.5
1959	256.8	273.0	344.4	311.7	178.0	167.6	150.6	145.8	138.2	155.1	149.0	195.6	2465.8
1960	251.0	300.4	353.9	272.5	177.3	126.1	126.0	114.8	138.6	168.7	187.5	173.4	2390.2
1961	244.0	259.8	323.5	328.3	337.7	188.7	112.0	127.7	158.7	141.8	125.0	182.1	2529.3
1962	226.0	267.6	299.2	339.1	174.8	118.9	115.6	120.4	157.1	172.5	188.1	222.6	2401.9
1963	252.0	269.3	328.8	-	135.7	153.4	147.7	153.3	-	184.6	-	225.4	-
1964	297.1	334.3	388.9	315.9	-	175.9	-	160.8	156.1	-	221.3	339.7	-
1965	267.9	280.6	374.0	352.3	284.5	141.6	-	-	149.9	177.4	160.1	218.6	-
1966	275.1	317.8	371.4	371.4	282.8	-	150.2	-	155.7	185.2	-	-	-
1967	220.0	264.0	333.4	283.1	274.0	171.0	171.5	159.1	144.0	158.0	187.9	244.4	2610.4
1968	283.0	308.0	359.7	284.5	200.8	158.4	180.5	172.3	155.0	190.7	219.6	257.8	2770.3
1969	278.0	250.5	315.4	231.4	199.8	153.6	141.2	155.9	153.9	153.7	172.4	203.0	2408.8
1970	225.6	267.9	328.4	332.0	208.6	142.8	143.2	134.8	159.7	192.7	201.9	210.2	2547.8
1972	234.9	267.7	312.2	253.8	189.9	206.9	194.5	223.0	183.5	180.5	195.2	240.7	2682.8
1973	293.1	293.1	352.7	327.4	316.5	230.2	201.2	167.8	150.5	175.7	164.2	215.0	2887.4
1974	253.5	262.5	335.9	319.6	239.8	259.9	201.3	172.0	140.5	172.9	169.6	238.8	2766.3
1975	270.4	279.8	356.0	322.0	261.1	221.7	190.0	166.1	174.9	169.9	180.7	200.5	2793.1
1976	234.9	256.2	301.0	259.0	229.9	165.7	146.6	182.1	192.1	175.3	196.0	233.2	2572.0
1977	269.9	288.5	314.0	319.8	227.7	160.7	173.7	163.2	156.4	183.5	169.3	239.0	2665.7
1978	275.0	-	330.3	238.1	210.1	149.7	169.0	133.1	150.0	153.3	141.3	-	-
1979	-	165.6	155.0	241.8	194.3	149.4	186.7	199.1	181.4	184.6	184.6	257.3	-
1980	243.3	288.7	335.5	231.5	175.6	143.4	150.6	143.8	170.2	217.4	210.5	205.5	2516.0
1981	223.7	233.2	288.6	172.1	144.1	103.5	126.0	92.4	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	158.9	134.3	169.2	137.3	141.2	164.3	169.2	203.5	-
1983	189.1	223.7	269.7	217.6	146.9	137.7	147.0	151.2	151.1	178.9	166.3	186.9	2166.1

C.3 Temperatura mínima media mensual (°C) Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, 2017). Estación Climatológica: El Sombrero. Serial 2469.

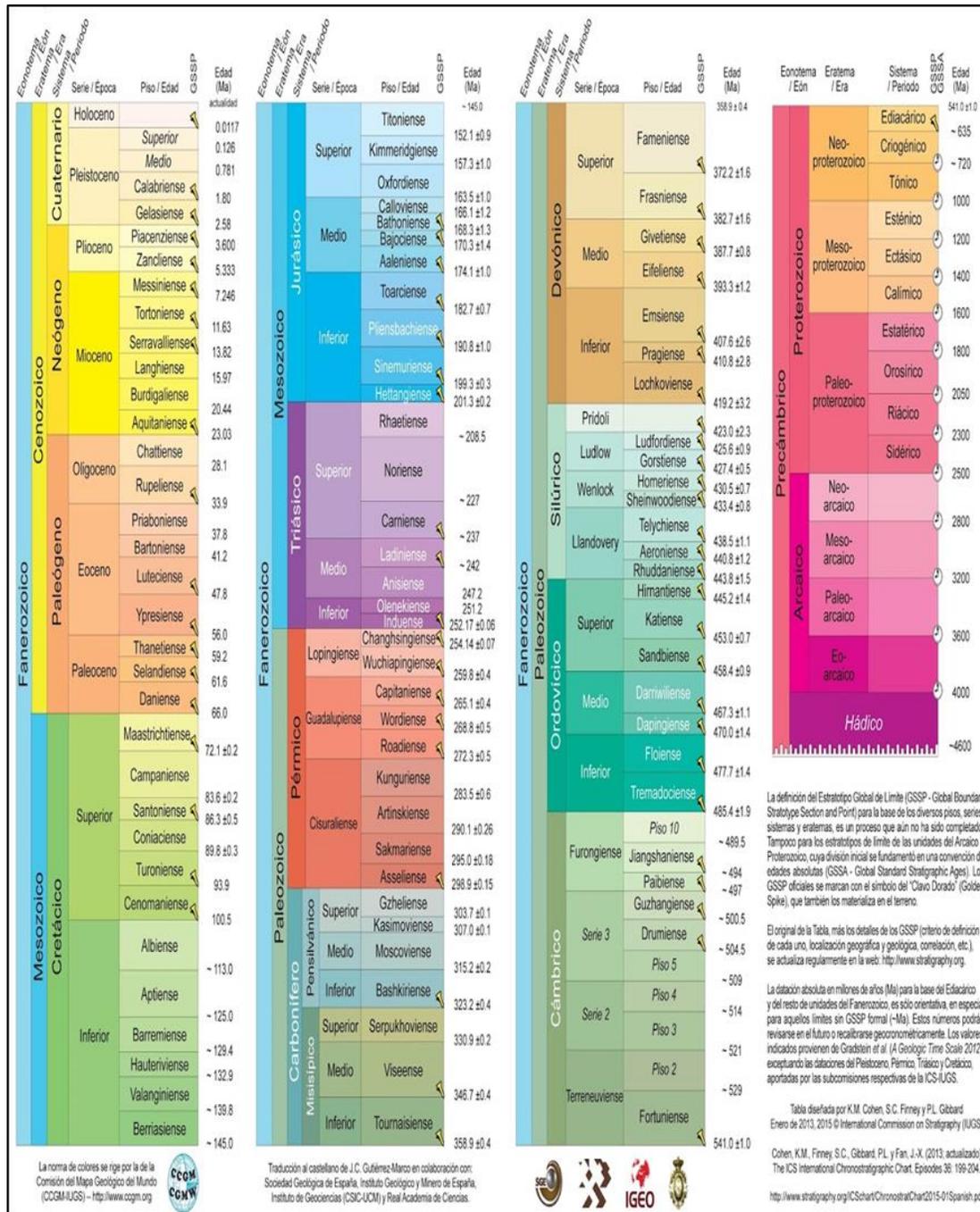
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	-	-	-	-	21.6	-	21.4	22.2	21.9	-	21.4	21.8	-
1971	20.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	21.0	21.3	22.8	23.5	23.0	23.2	22.2	22.2	22.6	22.4	22.0	21.9	22.3
1973	22.0	22.0	23.2	23.8	24.3	23.9	22.5	21.9	21.9	22.3	21.4	20.1	22.4
1974	20.0	21.1	22.0	23.4	23.5	23.6	21.9	21.8	21.5	21.6	21.8	20.1	21.9
1975	20.1	20.9	22.8	22.8	23.3	22.7	21.2	21.6	21.5	21.6	21.4	20.2	21.7
1976	19.6	20.2	21.4	22.3	23.0	21.7	21.1	20.9	21.5	21.3	21.1	20.3	21.2
1977	19.8	21.4	22.6	23.1	23.0	21.9	21.4	21.7	21.7	21.4	21.5	20.3	21.6
1978	20.3	-	21.8	22.4	22.9	22.0	21.3	21.3	21.6	21.7	21.8	-	-
1979	-	21.7	22.9	23.4	23.6	22.9	24.1	23.7	23.6	23.3	-	23.0	-
1980	21.8	22.2	21.4	21.8	22.6	22.0	22.0	21.5	21.9	22.3	21.3	21.6	21.9
1981	22.0	22.5	23.0	23.7	22.8	22.6	21.2	21.9	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	21.5	21.6	22.0	21.7	22.4	22.2	22.0	21.8	-

C.4 Temperatura máxima media mensual (°C), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH, 2017). Estación Climatológica: EL Sombrero. Serial 2469.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	-	-	-	-	36.7	-	32.7	32.7	34.1	-	34.1	33.6	-
1971	33.9	34.8	35.3	34.5	32.5	31.3	30.4	31.8	31.7	32.3	33.6	34.1	33.0
1972	33.4	34.6	35.8	34.5	32.9	33.3	32.5	33.7	32.6	33.1	33.2	34.2	33.7
1973	34.7	35.8	36.2	35.7	35.8	33.6	33.3	32.3	32.3	33.0	32.6	33.5	34.1
1974	34.0	34.8	35.3	35.2	34.1	35.3	31.8	32.0	32.1	33.1	33.6	34.2	33.8
1975	34.2	34.4	35.9	35.3	34.6	33.6	32.3	32.2	32.7	32.8	33.2	33.7	33.7
1976	33.7	34.3	34.4	34.9	34.4	31.5	31.0	32.1	33.4	33.5	34.4	34.5	35.5
1977	34.9	35.3	35.4	36.3	33.7	31.8	32.3	31.9	32.5	33.4	33.4	34.0	33.7
1978	34.8	-	36.2	34.9	34.0	31.1	32.1	30.9	32.7	32.7	34.3	-	-
1979	-	35.5	35.7	35.7	35.0	31.7	33.4	34.4	34.1	33.7	34.2	34.1	-
1980	33.5	35.3	36.0	36.0	32.6	33.0	33.1	33.1	34.5	35.6	35.6	35.2	34.5
1981	35.9	35.4	36.2	33.9	33.3	33.3	32.6	34.1	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	31.7	31.6	32.3	32.3	33.1	33.7	33.7	32.8	-
1983	33.8	35.2	36.6	35.2	32.2	32.2	32.9	32.6	32.9	33.0	35.2	34.9	33.9

**APÉNDICE D**  
**TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA**

D.1 Tabla Cronoestratigráfica (Comisión Internacional de Estratigrafía, 2015)



## **ANEXO**

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	<b>ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE EL SOMBRERO, MUNICIPIO JULIÁN MELLADO, ESTADO GUÁRICO.</b>
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>FERNANDO PLAZA</b>	<b>CVLAC</b>	<b>V- 22.818.819</b>
	<b>e-mail</b>	<b>PLAZA.FERNANDO94@GMAIL.COM</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>MIGUEL CRUZ</b>	<b>CVLAC</b>	<b>V- 22.856.762</b>
	<b>e-mail</b>	<b>MIGUELCRUZ762@HOTMAIL.COM</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

<b>COEFICIENTE</b>
<b>ESCURRIMIENTO</b>
<b>INFILTRACIÓN</b>
<b>HUMEDAD</b>
<b>HIETOGRAMAS</b>
<b>INTENSIDAD MÁXIMA</b>
<b>MAPA DE USO DE SUELOS</b>
<b>LLUVIA</b>

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

## Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias de la Tierra	Ingeniería Geológica

## Resumen (abstract):

---

El presente Trabajo Especial de Grado, tiene como objetivo central obtener la estimación del Coeficiente de Escurrimiento ( $C_e$ ) y de Infiltración ( $C_{inf}$ ), de la zona de El Sombrero, Municipio Julián Mellado, Estado Guárico. Para poder realizar este estudio, se programó una metodología, la cual consistió en: Recopilación de información bibliográfica y documental relacionada con la investigación propuesta. Se elaboró un mapa de suelos de la zona de estudio (El Sombrero), donde se describen las características naturales propias del terreno. Se recolectó datos climatológicos: lluvia, temperatura y evaporación a nivel medio mensual y lluvias máximas anuales, provenientes de la estación climatológica Con los datos de lluvia máxima anual se determinaron los valores de Intensidades Máximas de Lluvia ( $I_{máx}$ ) para cada año del periodo climatológico estudiado, el cual fue el comprendido desde 1965-2000 (24) años, lo que permitió finalmente diseñar todos los Hietogramas de lluvia para tormenta respectiva del período considerado. Luego utilizando las metodologías de Liu y Wang y de Cartaya (Liu-Wang, modificado), se estimaron los valores de Coeficiente de Escurrimiento y de Infiltración, para la zona de El Sombrero. También se utilizó el Método del Número de Curva (CN) o Soil Conservation de los Estados Unidos, el cual establece una relación entre los sistemas Suelo-Cobertura Vegetal, al considerar el uso del suelo, como su capacidad de retención de humedad estacional lo cual permite el desarrollo agrícola típico de la zona, como también cualesquier experimentación de rubros agrícolas a desarrollar; y finalmente se aplicó una metodología propuesta por el creador y tutor de la investigación Prof. Vicente Monsalve, referente a la utilización de un método ponderado de escurrimiento, donde se considera fundamentalmente las superficies de los diversos usos de suelo en la zona estudiada, y su respectivo coeficiente de escurrimiento promedio espacial, permitiendo finalmente la obtención de un valor estimado de coeficiente promedio espacial para toda la zona en estudio. Al analizar e interpretar todos los resultados obtenidos por los diferentes métodos aplicados, se tomó el valor técnico-científico más óptimo, al considerar todas las propiedades físico-naturales de la zona estudiada. Los valores estimados para cada método fueron: Liu-Wang,  $C_e = 29,31\%$ ; Cartaya (Liu-Wang, modificado),  $C_e = 41,91\%$ ; Número de Curva,  $C_e = 47,52\%$ ; y Ponderado de Escurrimiento,  $C_e = 27,80\%$ ; siendo la conclusión de que los valores óptimos satisfactorios, son los arrojados por los métodos de Cartaya (Liu-Wang, modificado), y Número de Curva del Soil Conservation, para lo cual se tomó el promedio espacial de dichos valores que, siendo este igual  $C_e = 44,72\%$ , y por complemento el  $C_{inf} = 55,28\%$ .

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

## Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<b>Vicente Monsalve</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	V- 2.766.562
	<b>e-mail</b>	vicenteantoniomonsalve@gmail.
	<b>e-mail</b>	
<b>Dafnis Echeverría</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	V- 4.506.408
	<b>e-mail</b>	dafnisecheverria2807@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
<b>Francisco Monteverde</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	V- 12.192.676
	<b>e-mail</b>	Monteverdefr@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

## Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2018	04	05

Lenguaje Spa

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

### Archivo(s):

Nombre de archivo
ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE EL SOMBRERO, ESTADO GUÁRICO.DOCX
ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE EL SOMBRERO, ESTADO GUÁRICO.PDF

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

### Alcance:

**Espacial:** \_\_\_\_\_ (Opcional)

**Temporal:** \_\_\_\_\_ (Opcional)

### Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Geólogo

### Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pre-grado

### Área de Estudio:

Departamento de Ingeniería Geológica

### Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Martínez*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolanos Curvelo*

JUAN A. BOLANOS CURVELO  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

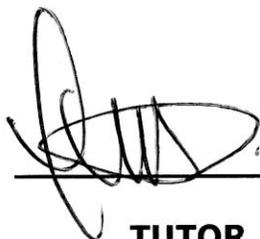
**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) :** "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



**AUTOR 1**



**AUTOR 2**



**TUTOR**



**JURADO**



**JURADO**