



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

**ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA EL SECTOR HIDROLÓGICO
DE LA QUEBRADA EL DIAMANTE, MEDIANTE MODELACIÓN CON HEC-HMS.**

UBALDO ANDRES DIAZ ARIAS

DANIEL FELIPE GUACANEME PRIETO

FRANCY LORENA ALONSO NORE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

**ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA EL SECTOR HIDROLÓGICO
DE LA QUEBRADA EL DIAMANTE, MEDIANTE MODELACIÓN CON HEC-HMS.**

UBALDO ANDRES DIAZ ARIAS

DANIEL FELIPE GUACANEME PRIETO

FRANCY LORENA ALONSO NORE

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO

INGENIERO CIVIL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2017



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

*"Las ideas emitidas por los autores
son de su exclusiva responsabilidad
y no expresan necesariamente
opiniones del director
del trabajo de grado
o de la Universidad".*

Agradecimientos y dedicatoria.

Queremos agradecer en primera instancia a Dios, el dueño y hacedor de nuestros sueños, a nuestros padres por habernos proporcionado la mejor educación y habernos enseñado las lecciones más importantes en nuestras vidas, por enseñarnos a pensar en grande, a nuestros hermanos y amigos que con sus consejos nos dieron alientos para ser cada día mejor personas.

También agradecer a nuestro director, ya que sin su orientación no hubiéramos podido culminar este postgrado, por brindarnos su ayuda y conocimiento, los cuales fueron indispensables en este proceso y a la universidad por infundir en nosotros ética y moral a nivel profesional y personal.

¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	12
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2.1 Problema a resolver	12
1.2.2 Antecedentes del problema a resolver	12
1.2.3 Pregunta de investigación	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
2 MARCOS DE REFERENCIA	14
2.1 MARCO GEOGRÁFICO	14
2.2 MARCO TEÓRICO	14
2.2.1 Modelación hidrológica.....	14
2.2.2 Hidrograma unitario	15
2.2.3 Software HEC-HMS.....	15
3 METODOLOGÍA	16
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
4.1 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO.....	17
4.1.1 Curva hipsométrica	18
4.1.2 Perfil de la quebrada.....	18
4.2 RIQUEZA HÍDRICA.....	19
4.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	21
4.4 ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN	21
4.4.1 Selección de estaciones de influencia	21
4.4.2 Depuración de datos	22
4.4.3 Selección de precipitación máxima multianual.....	22
4.5 NUMERO DE CURVA	23
4.5.1 Cobertura vegetal.....	23
4.5.2 Tipos de suelo	23
4.5.3 Obtención del CN	23
4.6 CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IDF	24
4.7 HIETOGRAMA DE PRECIPITACION NETA	25
4.8 OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO	26
4.9 HIDROGRAMA RESULTANTE	27
4.10 MÉTODO RACIONAL	27
4.11 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	28
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFIA	30
APÉNDICES	32
ANEXOS	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. MARCOS DE REFERENCIA. FUENTE PROPIA.	14
FIGURA 3-1. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO. FUENTE PROPIA	16
FIGURA 4-1. CURVA HIPSOMÉTRICA DEL SECTOR HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA EL DIAMANTE. FUENTE PROPIA. .	18
FIGURA 4-2. PERFIL DE LA QUEBRADA EL DIAMANTE. FUENTE PROPIA	19
FIGURA 4-3. RELACIÓN DE BIFURCACIÓN DE LAS CORRIENTES. FUENTE PROPIA	20
FIGURA 4-7. CURVA IDF SINTÉTICA PARA LA CUENCA DE ESTUDIO. FUENTE PROPIA	24
FIGURA 4-8. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRADA PARA LA CUENCA DE ESTUDIO. FUENTE PROPIA..	26
FIGURA 4-9. HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR. FUENTE PROPIA	26
FIGURA 4-10. HIDROGRAMA DE CAUDALES RESULTANTES DE FORMA MANUAL Y POR HEC-HMS. FUENTE PROPIA .	27

LISTA DE TABLAS

TABLA 4-1. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DEL SECTOR HIDROLÓGICO. FUENTE PROPIA.....	17
TABLA 4-2. RIQUEZA HÍDRICA DEL SECTOR HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA EL DIAMANTE. FUENTE PROPIA.....	19
TABLA 4-3. TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA POR DIFERENTES METODOLOGÍAS. FUENTE PROPIA.....	21
TABLA 4-4. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS CON INFLUENCIA EN LA CUENCA DE ESTUDIO. FUENTE PROPIA.	21
TABLA 4-5. DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS. FUENTE PROPIA	22
TABLA 4-6. VALORES DE LOS COEFICIENTES A, B, C Y D PARA EL CÁLCULO DE LAS CURVAS IDF PARA COLOMBIA. REFERENCIA: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. SUBDIRECCIÓN DE APOYO TÉCNICO 2009	25
TABLA 4-8. COMPARACIÓN DE LOS CAUDALES MÁXIMOS POR DIFERENTES MÉTODOS. FUENTE PROPIA	28

RESUMEN

El presente proyecto de grado consistió en demostrar la importancia de aplicar el Modelo de simulación HEC – HMS para determinar el hidrograma que produce la microcuenca de la quebrada el Diamante frente a eventos de precipitación, teniendo en cuenta las coberturas vegetales y tipo de suelo de la misma. Por lo anterior, se emplearon curvas de intensidad, duración, frecuencia (IDF) aproximadas para microcuenca de la quebrada el Diamante y se generaron hidrogramas de diseño calculados a partir de la precipitación máxima anual de 24 horas de las estaciones de Puente Quemado y Chita, procedente de información consultada en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el instituto de hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM).

Además, se realizaron las simulaciones con el software HEC-HMS aplicando el método de hidrograma unitario, usando un hietograma o tormentas de diseño como entrada y obteniendo el hidrograma resultante para un periodo de retorno de 100 años. Igualmente, se realizaron los cálculos por medio del método racional, encontrando una diferencia importante con respecto al método del hidrograma unitario, esto debido a la limitante del método racional.

Al caracterizar hidrológicamente la microcuenca de la quebrada el Diamante, como un sistema integrado se puede simular la respuesta de la misma ante la ocurrencia de eventos extremos, con el fin de conocer los posibles riesgos que pudieran presentarse trayendo como consecuencias pérdidas económicas y sociales en las poblaciones ubicadas a lo de la corriente de agua.

Palabras clave: Curvas IDF, Tipo y uso del suelo, hidrograma unitario, HEC-HMS, Modelos Hidrológico.

ABSTRACT

The present degree project consisted in demonstrating the importance of applying the HEC – HMS simulation model to determine the hydrograph produced by the bowl in the face of precipitation events, taking into account the vegetation cover and the soil type of the same. Used curves of intensity, duration, frequency, approximate for construction in the microbasin of the el Diamante stream and design hydrograms were calculated based on the maximum 24 hour precipitation of Puente Quemado and Chita stations, from information consulted in the Geographic Institute Agustín Codazzi (IGAC) and the Institute of hydrology, meteorology and environmental studies (IDEAM).

In addition, simulations were performed with the HEC-HMS software applying the unit hydrograph method, using a hietogram or design storms as input and obtaining the resulting hydrograph for a return period of 100 years. Likewise, the calculations were made by means of the rational method, finding an important difference with respect to the unit hydrograph method, this due to the limitation of the rational method.

By hydrologically characterizing the microbasin of the El Diamante stream, as an integrated system that allows simulating its response to happened of some extreme event, to know the

possible risks that could arise, resulting in economic and social losses in the populations located along the body of water.

Keywords: Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves, Type and land use, Unit hydrograph, HEC-HMS

INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como objetivo socializar detalladamente cómo se efectuó la modelación hidrológica de la quebrada el Diamante para efectos de estimar el caudal máximo mediante HEC-HMS. La característica principal de la modelación hidrológica es caracterizar por medio de un modelo hidrológico, las diversas amenazas por inundaciones o sequías a las que puede estar expuesta la población cercana a los cauces a lo largo del territorio nacional. (Carvajal Gómez, 2014).

La puesta en marcha de un modelo hidrológico como el expuesto en este trabajo; el cual revela los caudales máximos a los cuales puede llegar el sector hidrológico de la quebrada el Diamante (área de estudio) en los casos más críticos de emergencia invernal, es un estudio cuya información será valiosa a la hora de generar pronósticos hidrológicos y conocer escenarios de riesgo para efectuar las acciones de prevención requeridas o generación de obras de infraestructura para proyectos a futuro, una vez la población ya esté alertada del peligro latente pueda ser orientada para emprender acciones que permitan reducir los efectos adversos asociados.

Para el desarrollo del actual trabajo de grado fue necesaria la utilización específica de software especializado como HEC-HMS y herramientas de Sistemas de Información Geográfica, además de otras aplicaciones y bases de datos de uso libre como informes hidrológicos, catálogos de estaciones, Geoportal y la biblioteca online del IGAC. Cabe resaltar que los datos hidro-meteorológicos utilizados en la ejecución del proyecto fueron obtenidos de la red básica del IDEAM.

La metodología empleada para realizar el proyecto de grado consistió la obtención de un DEM de 10 metros, con el cual se obtuvo la delimitación y los parámetros de la cuenca utilizando el software ArcGIS, posteriormente se realizó la selección de las estaciones de influencia según los polígonos de Thiessen. Posteriormente, a los datos de cada estación se le realizó la búsqueda de datos atípicos y se encontró la precipitación máxima en 24 horas para los último 10 años disponibles. Luego, se identificó la cobertura vegetal y el tipo de suelo presente en la cuenca, para determinar el número de curva, además se crearon las curvas IDF sintéticas por el método regionalizado para Colombia, con las intensidades para un tiempo de retorno de 100 años, se elaboró el hidrograma de bloque alterno, el hietograma de precipitación neta e infiltración, los hidrogramas de caudales con HEC-HMS y de forma manual, además de hallar el caudal máximo por el método racional.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Saneamiento de comunidades.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema a resolver

En los últimos años, la quebrada el Diamante ha sufrido una serie de desbordes en su cauce que han afectado a la población aledaña, ocasionando una serie de pérdidas en predios, cultivos de pancoger (cultivos que satisfacen una parte de las necesidades alimentarias de una población), viviendas y animales domésticos, teniendo que realizar la reubicación temporal de las personas afectadas, por lo que se hace necesario el diseño de algún tipo de obra o proyecto para el control de crecidas.

1.2.2 Antecedentes del problema a resolver

Actualmente la zona de estudio denominada como el sector hidrológico de la quebrada el Diamante no cuenta con estudios realizados en esta zona.

Sin embargo, se realizó una búsqueda de diferentes proyectos de modelación hidrológica que han empleado el programa HEC - HMS en Colombia, las cuales fueron base de desarrollo de nuestro trabajo de grado.

En primer lugar, en año 2005, Edgar Gómez Y Henry Castillo de la Universidad Católica de Colombia, aplicaron el programa HEC - HMS para la obtención de caudales máximos de la cuenca del río frío. Para llevar a cabo este trabajo se realizó en primer lugar un estudio hidrológico de la cuenca, identificando por distintos métodos los diferentes parámetros de entrada para la modelación hidrológica, así se realizó la simulación con cada método para la calibración del modelo, finalmente los resultados fueron con comparados con estudios anteriores, de lo que se concluyó que el programa HEC HMS es muy versátil y ofrece una buena cantidad de posibilidades para la solución de problemas hidrológicos, pero se requiere que la cuenca este altamente instrumentada, y que los datos obtenidos sean confiables y consistentes (Gómez & Castillo, 2005).

En segundo lugar se tiene otro trabajo de grado elaborado en el año 2014 por Edison Martínez de la Universidad Santo Tomas de Aquino en compañía del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), donde se realizó modelación hidrológica de la cuenca alta del río Atrato empleando el software de libre licencia HEC-HMS para obtener caudales máximos, desde su nacimiento en cerro de Plateado hasta la ciudad de Quibdó, lo cual

no se había realizado con anterioridad dado la poca información sobre la cuenca. Para la modelación se empleó el método hidrológico de SMA (Continuous Soil Moisture accounting) para pérdidas, debido a las ventajas que ofrece este método en cuanto a la representación de la percolación y otros efectos en el suelo, lo que traería una modelación continua de precipitación. (Martinez Ortega, 2014).

1.2.3 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los caudales máximos que se generan en la quebrada el diamante, de acuerdo a una modelación con el software HEC - HMS?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a las zonas susceptibles a inundaciones presentes en el área de estudio nace la necesidad de diseñar estructuras para la protección de los pobladores, frente a las inundaciones, las cuales tienen una fuerte repercusión en la calidad de vida y desarrollo económico de la zona; y a partir de ahí se observa la importancia de determinar los caudales máximos que se pueden generar en el sector hidrológico de la quebrada el Diamante, dado que los valores de caudales extremos o máximos son fundamentales para el desarrollo de este tipo de obras.

1.3.1 Objetivo general

Estimar los caudales máximos del sector hidrológico de la quebrada el Diamante, mediante la modelación con HEC.HMS.

1.3.2 Objetivos específicos

- Establecer los parámetros morfométricos del sector hidrológico de la quebrada el Diamante.
- Crear la curva de intensidad- duración- frecuencia (IDF) del sector hidrológico de la quebrada el Diamante.
- Determinar el número de curva (CN) para el sector hidrológico de la quebrada el Diamante.

2 MARCOS DE REFERENCIA

Los marcos utilizados para el desarrollo de la presente investigación se muestran en la Figura 2-1.

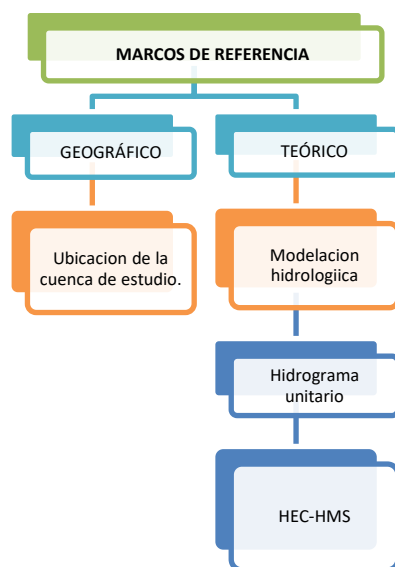


Figura 2-1. Marcos de referencia. Fuente propia.

2.1 MARCO GEOGRÁFICO

La quebrada el Diamante se ubica en la parte inferior del municipio La Salina, del departamento de Casanare. Esta actúa como Afluente de Río negro, cerca se encuentra la Peña de la Esperanza, la Cuchilla del Niquel ó Altamira y el Alto el Medio.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Modelación hidrológica

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias. (Estrada Sifontes & Pacheco Moya, 2012)

2.2.2 Hidrograma unitario

Se define como el hidrograma de escurrimiento debido a una precipitación con altura en exceso (hpe) unitaria (un mm, un cm, una pulg, etc.), repartida uniformemente sobre la cuenca, con una intensidad constante durante un período específico de tiempo (duración en exceso “de”). El hidrograma unitario, es un hidrograma típico de la cuenca. Como las características fisiográficas de la cuenca (área, forma, pendiente, etc.) son relativamente constantes, cabe esperar una considerable similitud en la forma de los hidrogramas, correspondientes a precipitaciones de características similares (duración, intensidad, distribución, cantidad de escurrimiento, etc.) (Duran Sarmiento, García Troya, Panchano Ramon, Terán Reyes, & Ullauri Ortega, 2015)

2.2.3 Software HEC-HMS

El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos de precipitación y escurrimiento de las cuencas de drenaje dendríticas. Está diseñado para ser aplicable en una amplia gama de áreas geográficas para resolver la mayor variedad posible de problemas (Mochica Mamani, 2013). Esto incluye gran río cuenca de agua de la oferta y la inundación hidrología y pequeño escurrimiento de cuencas urbano o natural. Los hidrogramas producidos por el programa se usan directamente o en conjunto con otros programas para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronóstico de flujo, impacto futuro de la urbanización, diseño de vertedero de yacimientos, reducción de daños por inundación, regulación de llanuras de inundación y operación de sistemas. (Bastidas, 2005)

El programa es un sistema de modelado generalizado capaz de representar muchas cuencas hidrográficas diferentes. Se construye un modelo de la cuenca hidrográfica separando el ciclo del agua en piezas manejables y construyendo límites alrededor de la cuenca hidrográfica de interés. Cualquier flujo de masa o energía en el ciclo puede representarse con un modelo matemático. En la mayoría de los casos, varias opciones de modelo están disponibles para representar cada flujo. Cada modelo matemático incluido en el programa es adecuado en diferentes entornos y bajo diferentes condiciones. (Nanía, 2007)

3 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el presente estudio se puede observar en la

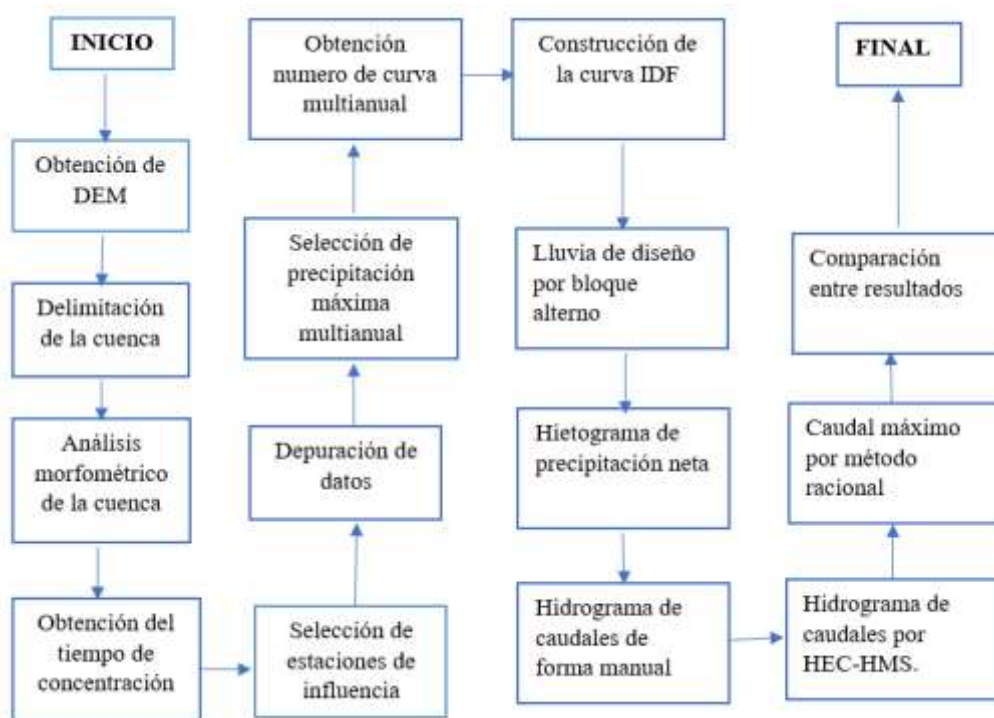


Figura 3-1. Metodología del estudio. Fuente propia

La delimitación de la cuenca se realizó empleando un DEM de 10 metros, obtenido de LPDAAC (Lans Processes Distributed Active Center). Para la determinación de los parámetros morfológicos de la cuenca, y la obtención del número de curva se utilizó el software ArcGIS.

Posteriormente, se realizó la selección de las estaciones climatológicas del IDEAM, que tuvieran influencia en el sector hidrológico de este estudio, de acuerdo al criterio de los polígonos de Thiessen, se realizó un proceso de depuración de los datos, para descartar datos atípicos, para el tratamiento de datos se realizó el análisis empleando los últimos 10 años disponibles (2006 a 2015) de las estaciones seleccionadas y se estableció la curva IDF aproximada del sector hidrográfico.

Finalmente, se estableció el hidrograma unitario triangular, con el cual se obtuvo el hidrograma de caudales para un tiempo de retorno de 100 años con tormenta de diseño con pico al 50%. Este procedimiento se realizó tanto de forma manual como por medio del software HEC-HMS, además se obtuvo el caudal máximo por medio del método racional, para realizar una comparación entre los tres métodos.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO

El análisis morfométrico del sector hidrológico de la quebrada el Diamante se puede observar en Tabla 4-1. En el Apéndice 1 se puede observar la delimitación de la cuenca, y las corrientes de la misma.

Tabla 4-1. Análisis morfométrico del sector hidrológico. Fuente propia.

Parámetro morfométrico	Unidades	Valor
Área de la cuenca	Km ²	17,28
Perímetro de la cuenca	Km	20,698
Pendiente de la cuenca	%	46,76
Longitud del río principal	Km	6,908
Elevación mínima de la cuenca	msnm	1279
Elevación media de la cuenca	msnm	1577,65
Elevación máxima de la cuenca	msnm	2969
No de corrientes perenes, intermitentes o tramos	# de corrientes	37
Longitud de corrientes	Km	35.67
Orden de corriente		3
Densidad de corriente (Ds)	ríos/Km	2,141
Densidad de drenajes (Dd)	Km/Km ²	2,064
Factor de forma (Kf)	Adimensional	0,473
Coefficiente de compacidad (Kc)	Adimensional	1,404
Índice de alargamiento (Ia)	Adimensional	1,566

De acuerdo a lo establecido en la Tabla 4-1, se obtuvo un área de 17,28 Km², por lo cual la cuenca corresponde a un sector hidrológico, con un perímetro de 20,69 Km y una pendiente del 46,76%, correspondiendo a un terreno montañoso, las elevaciones de la cuenca oscilan entre 1270 a 2969 m.s.n.m, por lo cual la parte baja de la cuenca es de clima templado con una temperatura de 17 a 24°C, mientras que la parte alta es un piso térmico frío con una temperatura de 12 a 17°C aproximadamente.

La cuenca posee 37 corrientes, con una longitud total de 35.67 Km, donde la quebrada el Diamante como corriente principal corresponde al 19,36% de la longitud de corrientes. En cuanto a la densidad de drenaje, esta se considera moderada. En cuanto a la forma se establece que es una cuenca con tendencia alargada, por lo cual se deduce que los tiempos de viaje son mucho más largos, originando que los picos de las crecidas disminuyan cuando se forman lluvias concentradas en la cuenca (Rojo Hernández, s.f.)

4.1.1 Curva hipsométrica

En la Figura 4-1 se observa la curva hipsométrica de la cuenca de estudio.

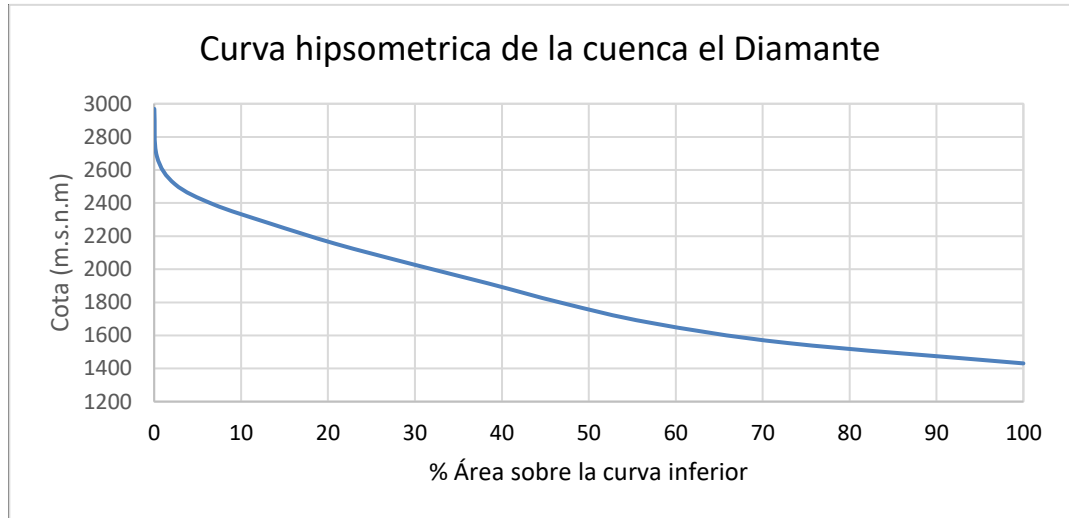


Figura 4-1. Curva hipsométrica del sector hidrológico de la quebrada el Diamante. Fuente propia.

En la Figura 4-1 se presenta la curva hipsométrica. Por su forma se puede concluir que la cuenca se encuentra en una etapa de madurez con colinas medias; tiene mayores puntos por encima de la altura mediana lo que da a entender que tiene mayor variabilidad altimétrica, lo que significa un mayor proceso erosivo en la parte alta de la cuenca.

4.1.2 Perfil de la quebrada

En la Figura 4-2 se observa el perfil longitudinal de la quebrada el Diamante.

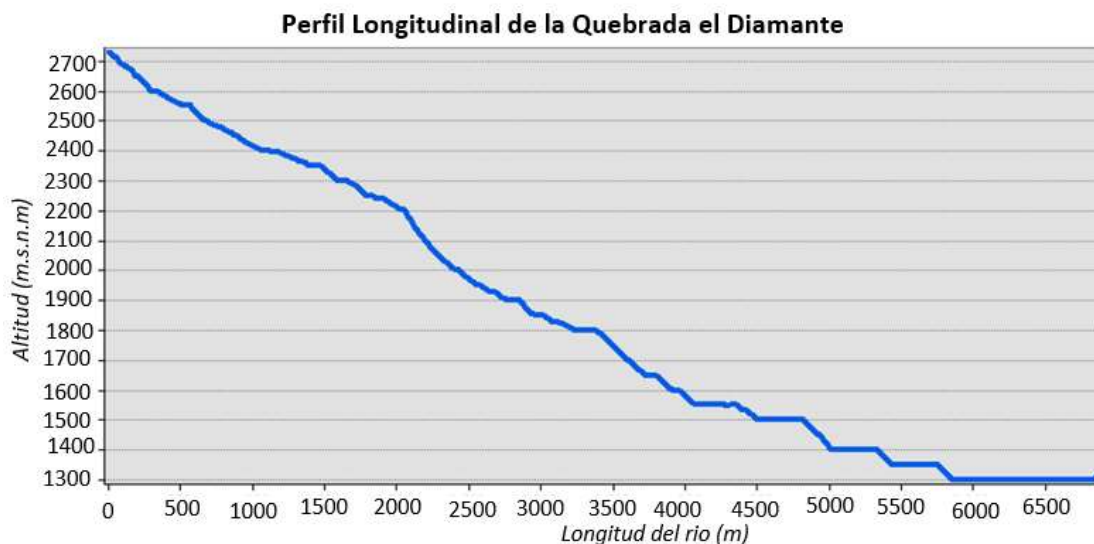


Figura 4-2. Perfil de la quebrada el Diamante. Fuente propia

Al realizar el análisis de la microcuenca El Diamante por su posición topográfica, encontramos que se describe un comportamiento de transición ya que muestra una situación intermedia entre la zona de montaña y la llegada a la zona de planicie, característico de la descripción morfométrica generada, con pendientes y velocidades moderadas y su cauce formado por areniscas y algunos cantos rodados. (Aparicio Mijares F.J, 2016)

4.2 RIQUEZA HÍDRICA

De acuerdo con la zonificación y codificación de cuencas hidrográficas establecido por el IDEAM, la cuenca de estudio corresponde al código 3602-02, es decir que la cuenca pertenece al área hidrológica del Orinoco y a la zona hidrográfica de río Casanare.

Tabla 4-2. Riqueza hídrica del sector hidrológico de la quebrada el Diamante. Fuente propia.

Cuenca	Unidad hidrológica	Unidad hidrológica (II)	Unidad hidrológica (III)
	021	021a; 021m.	
	022	022m.	
	023	023a; 023b; 023m.	
	024	024m.	
	025	025a; 025b; 025c; 025d; 025e; 025f; 025g; 025m.	

Cuenca	Unidad hidrológica	Unidad hidrológica (II)	Unidad hidrológica (III)
3602-02	026	026m.	
	027	027m.	
	028	028m.	
	029	029a; 029m.	
	0210	0210a; 0210m.	0210a1; 210a1m
	0211	0211m.	
	0212	0212a; 0212b; 0212c; 0212m.	
	12	27	2
Sumatoria	41		

Como se establece en la Tabla 4-2 el sector hidrológico de a quebrada el Diamante posee 12 unidades hidrológicas, 27 unidades hidrológicas de segundo orden y 2 unidades hidrológicas de tercer orden, lo que indica que el 66% de la riqueza hídrica de esta cuenca se encuentra en las unidades hidrológicas de orden II.

En la se Figura 4-3 observa la relación de bifurcación (Rb) para los tres rangos de orden de corrientes que se encuentran en el sector hidrológico. Al realizar el análisis graficando el orden y el Rb, se observa que los drenajes de orden uno y dos (en especial este último) presentan la mayor probabilidad de potencial hídrico.

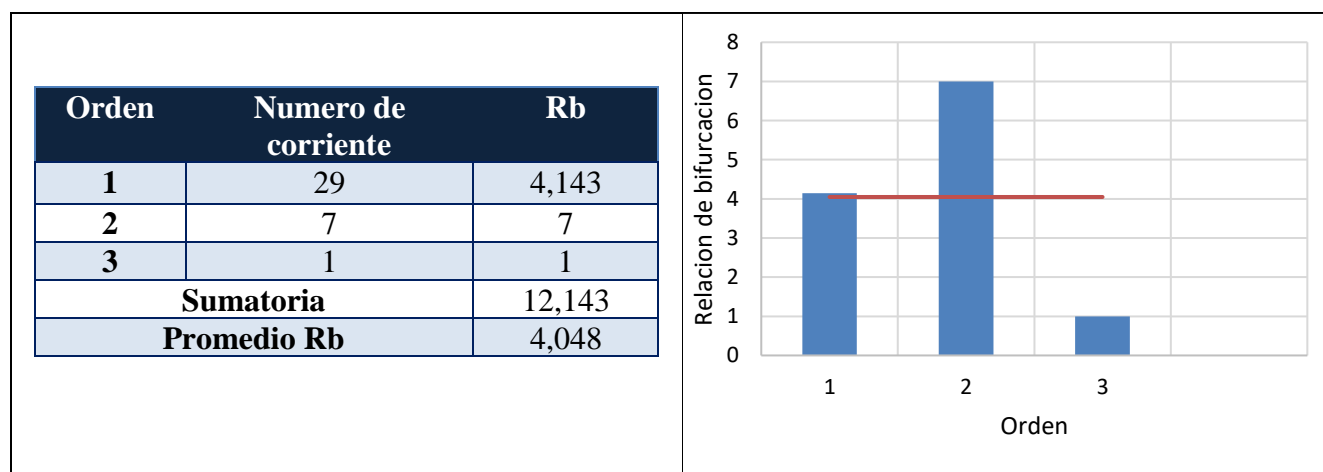


Figura 4-3. Relación de bifurcación de las corrientes. Fuente Propia

4.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Para establecer el tiempo de concentración de la cuenca, se utilizaron diferentes metodologías, los resultados se pueden observar en la Tabla 4-3:

Tabla 4-3. Tiempos de concentración de la cuenca por diferentes metodologías.
Fuente propia

Metodología	TC (min)	Numero de parámetros
Kirpich	21,287	2
Temez	34,015	2
William	63,102	4
SCS Ramser	27,703	2
Ventura - Heras	33,731	2
V. T. Chow	66,053	2
US Army	76,157	2
Giandotti	36,251	3
Tc adoptado 37,5		

Finalmente se adoptó un tiempo de concentración de 37,5 minutos valor importante al momento de definir el hidrograma Unitario.

4.4 ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN

4.4.1 Selección de estaciones de influencia

Para la selección de las estaciones de influencia se utilizó la metodología de polígonos de Thiessen, encontrando dos estaciones con influencia sobre la cuenca (Ver

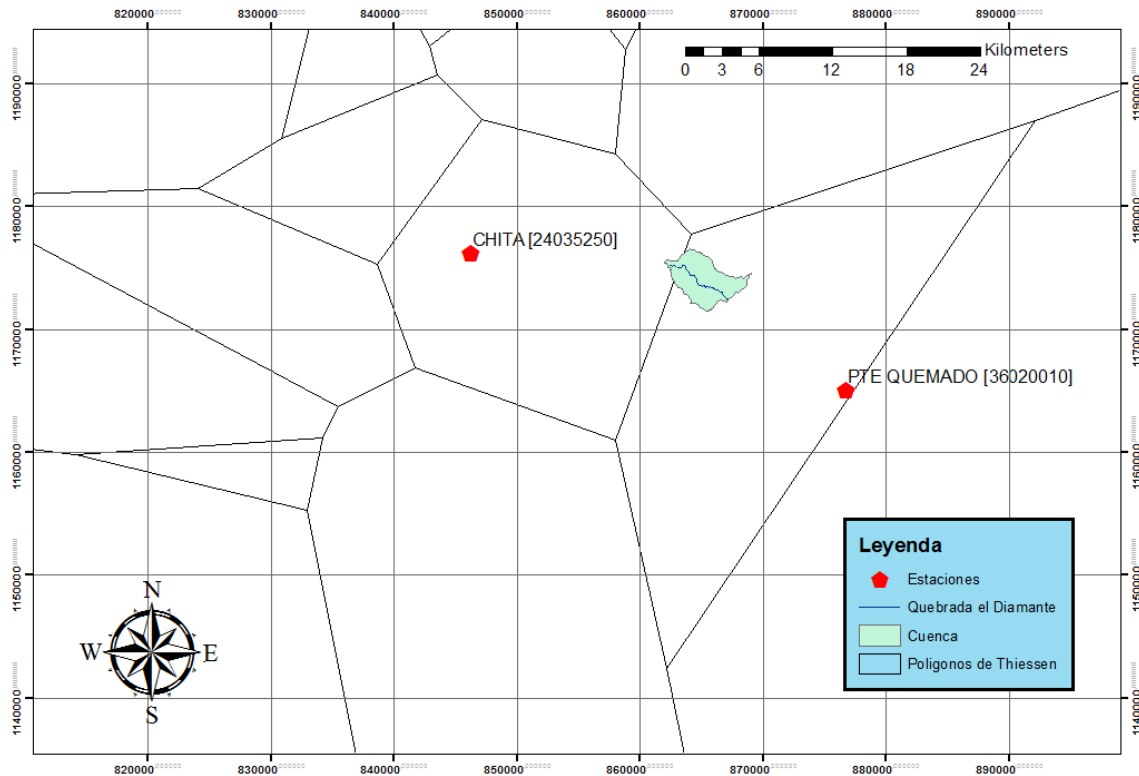
Apéndice 2), en la Tabla 4-4 se observan los datos básicos de esas dos estaciones.

**Tabla 4-4. Estaciones hidrometeorológicas con influencia en la cuenca de estudio.
Fuente propia.**

CÓDIGO	NOMBRE	CATEGORÍA	CORRIENTE	MUNICIPIO	LATITUD		LONGITUD		ALTITUD
24035250	CHITA	CO	QDA PENA BLANCA	CHITA	6,188	N	-72,466	W	2888
36020010	PTE QUEMADO	PM	CASANARE	SÁCAMA	6,088	N	-72,191	W	1020

4.4.2 Depuración de datos

Para este estudio se emplearon los datos máximos de precipitación en 24 horas de las estaciones de Puente quemado (Anexo 1) y Chita (Anexo 2) obtenidos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a los cuales se les realizó un proceso de revisión de datos atípicos, por varias metodologías, concluyendo finalmente que no encontró ningún dato atípico, por lo cual la serie se utiliza sin ninguna modificación. Los cálculos para encontrar datos atípicos se pueden observar en el



4.4.3 Selección de precipitación máxima multianual

Para llevar a cabo un análisis mucho más preciso de la situación actual de la cuenca, se emplearon solo los últimos 10 años disponibles de información (2006 al 2015), esto para evidenciar el posible cambio en la precipitación por efectos del calentamiento global.

Para cada estación se calculó la media, desviación estándar y el coeficiente de asimetría a los valores de precipitación máxima en 24 horas por año. Estos valores se pueden ver en Tabla 4-5

Tabla 4-5. Datos de precipitación máxima en 24 horas. Fuente propia

Año	Precipitación máxima en 24h		
	Chita (mm)	Pte quemado (mm)	Lluvia Ponderada (mm)
2006	72.23	80.03	79.51
2007	32.2	80.03	76.86
2008	42.5	80.53	78.01
2009	30.5	106	101.01
2010	66.73	105.5	102.93
2011	39.73	80.03	77.36
2012	48.2	138.4	132.44
2013	37	62.03	60.37
2014	32.2	90	86.18
2015	56.03	71	70.01
Promedio	45.73	89.36	86.47
Desviación estándar	14.82	22.02	20.66
Coefficiente de asimetría	0.84	1.26	1.25

La precipitación promedio máxima en 24 horas a nivel multianual para la estación de Chita corresponde a 45.73 mm y para la estación de puente quemado es de 89.36 mm, casi duplicando la precipitación en esta última estación. En cuanto a la desviación estándar, los datos de la estación de puente quemado están mucho más dispersos alrededor de la media que los de la estación de chita. En cuanto a asimetría se observa que los datos de la estación Chita muestran un comportamiento simétrico, mientras que los datos de la estación Puente Quemado son asimétricos con abundancia de los datos pequeños.

Además, en la Tabla 4-5 se puede apreciar la lluvia ponderada en función del área aferente a las estaciones (1.142 Ha para Chita y 16.142 Ha para Puente Quemado). De esta manera se puede afirmar que para la cuenta de estudio la precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual es de 86.47mm.

Finalmente, al ajustar una distribución Gamma a los valores de la lluvia ponderada (ver Tabla 4-5), se encontró que la lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años es de 141.64mm. Es necesario tener en cuenta que la bondad del ajuste de la distribución Gamma fue comprobada mediante una prueba Prueba Kolmogorov – Smirnov con una confianza del 95%.

4.5 NUMERO DE CURVA

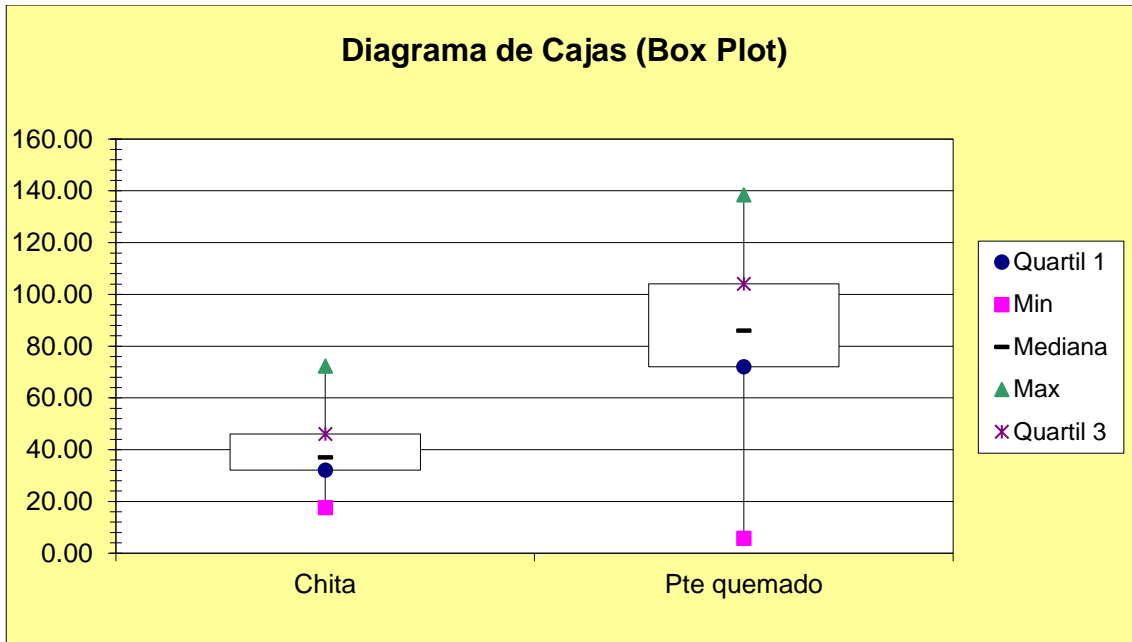
Una vez obtenidos los principales parámetros morfométricos de la microcuenca, se realizó la revisión de las variables del suelo, cobertura y uso, para calcular el número de curva de escorrentía (CN).

4.5.1 Cobertura vegetal

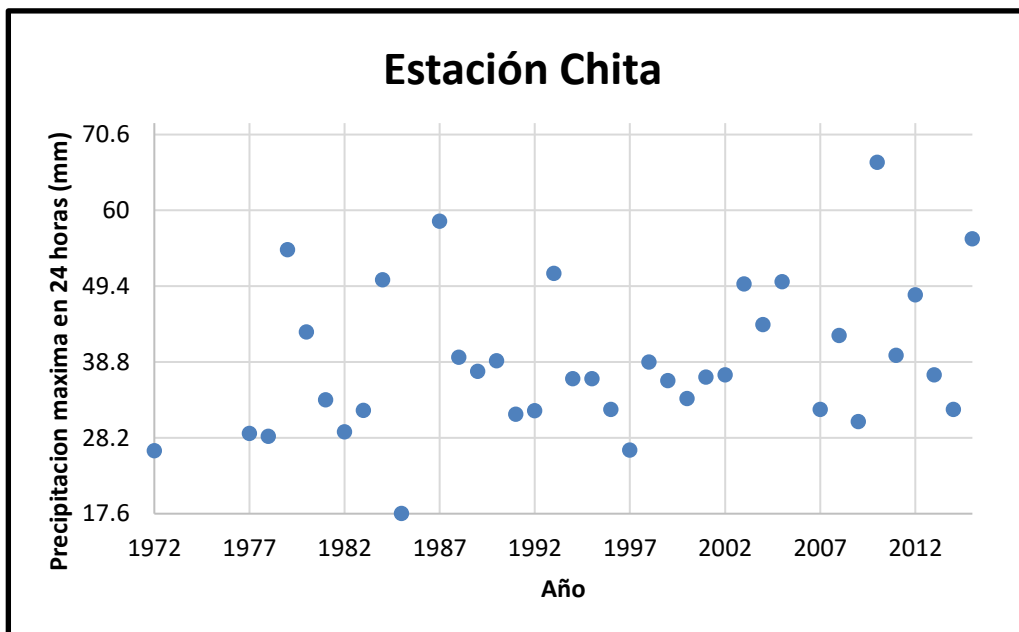
Con la ayuda del plano de Cobertura Vegetal, se pudo identificar y definir cuatro tipos de cobertura vegetal característicos en la mayor parte del Área de la cuenca: los pastos limpios, el rastrojo o bosque secundario, el bosque de galería junto a los lechos de caños y ríos y las áreas urbanizadas, correspondientes a zonas totalmente dedicadas a la ganadería, con algunos cultivos.

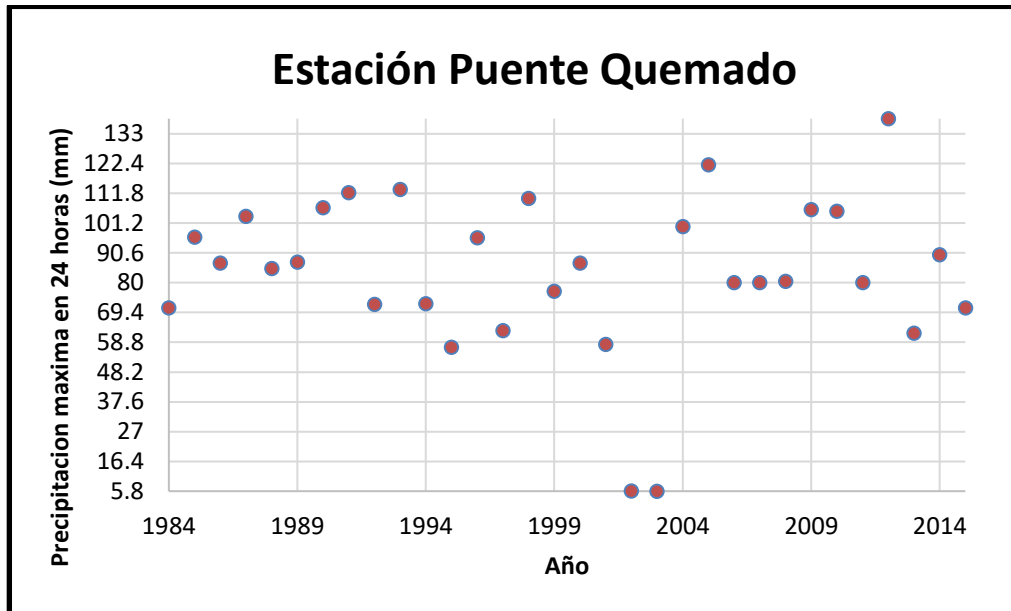
En algunas áreas la cuenca presenta una cobertura vegetal en mosaico de cultivos, y de igual forma se observan actividades recreativas en algunos de los caños ubicados dentro del Área. En el

Datos y Cálculos Estadísticos		
Estadísticos	Chita	Pte. quemado
Quartil 1 (mm)	32.12	72.01
Min (mm)	17.63	5.80
Mediana (mm)	37.00	86.02
Max (mm)	72.23	138.40
Quartil 3 (mm)	46.12	104.08
Rango RI (mm)	14.00	32.07
a	-9.885	-24.205
b	11.115	23.9
c	67.115	152.18
d	88.115	200.285



A continuación las gráficas de dispersión de datos suministrados por cada estación presente en el área de la microcuenca.





Solamente para la Estación Puente Quemado se encuentran dos datos con una dispersión anormal, los cuales de acuerdo al análisis posterior, no afectan el análisis estadístico a considerar.

3.2. Método Water Resources Council -WRC -U.S

Estadísticos	Chita	Pte quemado
Mediana Y (mm)	1.58	1.87
Desviación Estándar (mm)	0.12	0.30
Coefficiente de Asimetría (adimensional)	0.04	-3.19
YH (+)	1.26	2.65
Kn * (adimensional)	2.661	2.577
XH (+)	18.16	443.80

(+) Las unidades estadísticas definidas están en términos del log10 de los datos de precipitación máxima anual para cada estación (mm).

Conclusión: No eliminar datos atípicos

***Valores de Kn**

Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada (Primera ed.). (J. G. Saldarriaga Valderrama, Trad.) 47 Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

Apéndice 4 se observa los tipos de cobertura vegetal presentes en la cuenca, y la distribución espacial de los mismos.

4.5.2 Tipos de suelo

En cuanto al tipo de suelo, se observan 6 tipos presentes en el sector hidrológico, los cuales son rocas sedimentarias con una textura media promedio, donde predomina el suelo MPAg2, el cual corresponde a areniscas, arcillolitas y lalitas de textura media y gruesa. Los tipos de suelo y la distribución espacial de estos se observan en el

Apéndice 5.

4.5.3 Obtención del CN

Una vez definidos los tipos y usos de suelo, se cruzaron estas variables y se encontraron
26 combinaciones, es decir, 26 CNs, En el

Apéndice 6 se observa los CN para cada combinación de cobertura vegetal y tipo de suelo, además de su distribución espacial.

Una vez obtenidos los números de curva de escurrimiento asociados al uso y tipo de suelo (CN) se ponderó consiguiendo un único valor para la cuenca de 76.8 sin corrección y 88.39 corregido. La corrección de CN se realizó teniendo en cuenta las lluvias precedentes y las características de crecimiento de la vegetación, de los datos en condiciones más extremas.

4.6 CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IDF

Para obtener la lluvia de diseño de cuenca se ponderó la lluvia de las dos estaciones en función del área de influencia de acuerdo a los polígonos de Thiessen. De allí se generó la curva IDF sintética aproximada según la metodología de Curvas IDF sintéticas regionalizadas para Colombia para 5 periodos de retorno (5, 25, 50, 75 y 100). Las curvas aproximadas se muestran en Figura 4-4 y son descritas por la siguiente ecuación:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{(t/60)^c} \text{ (Ecuacion para obtener la intensidad por el método aproximado)}$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación (mm/h)

T: periodo de retorno (años)

M: Precipitación máxima en 24 horas promedio multianual (mm).

T: Duración de la lluvia (min)

a,b,c,d: Parámetros de ajuste de la regresión.

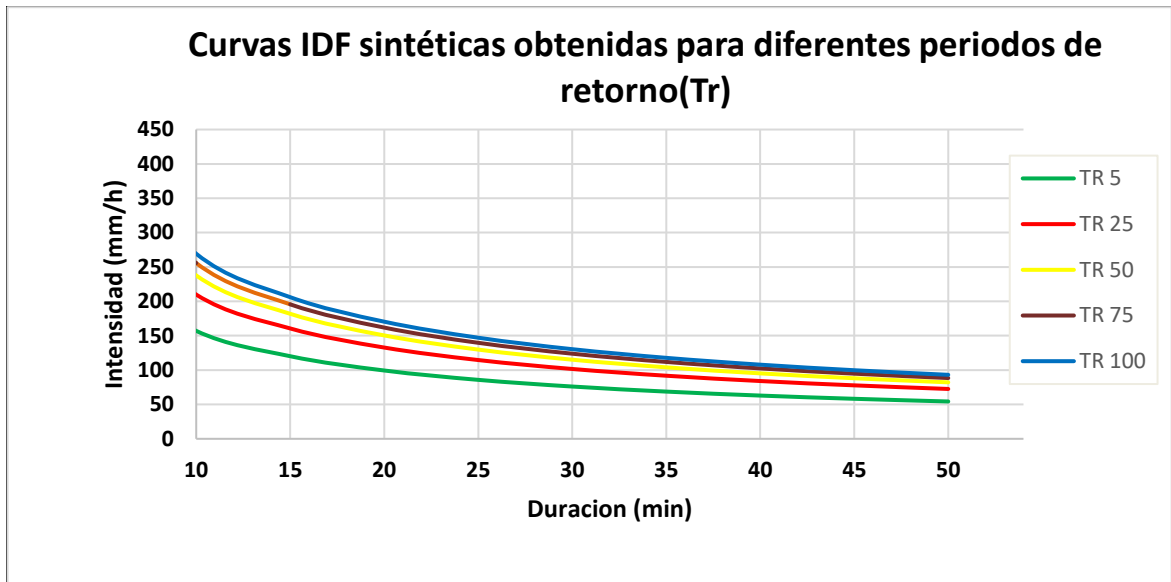


Figura 4-4. Curva IDF sintética para la cuenca de estudio. Fuente propia

El procedimiento para obtener la curva IDF se observa en el

Apéndice 7.

Debido a que la cuenca se localiza en la región de la Andina, se utilizan los siguientes coeficientes a, b, c y d Tabla 4-6 :

Tabla 4-6. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas IDF para Colombia. Referencia: Instituto Nacional de Vías. Subdirección de apoyo técnico 2009

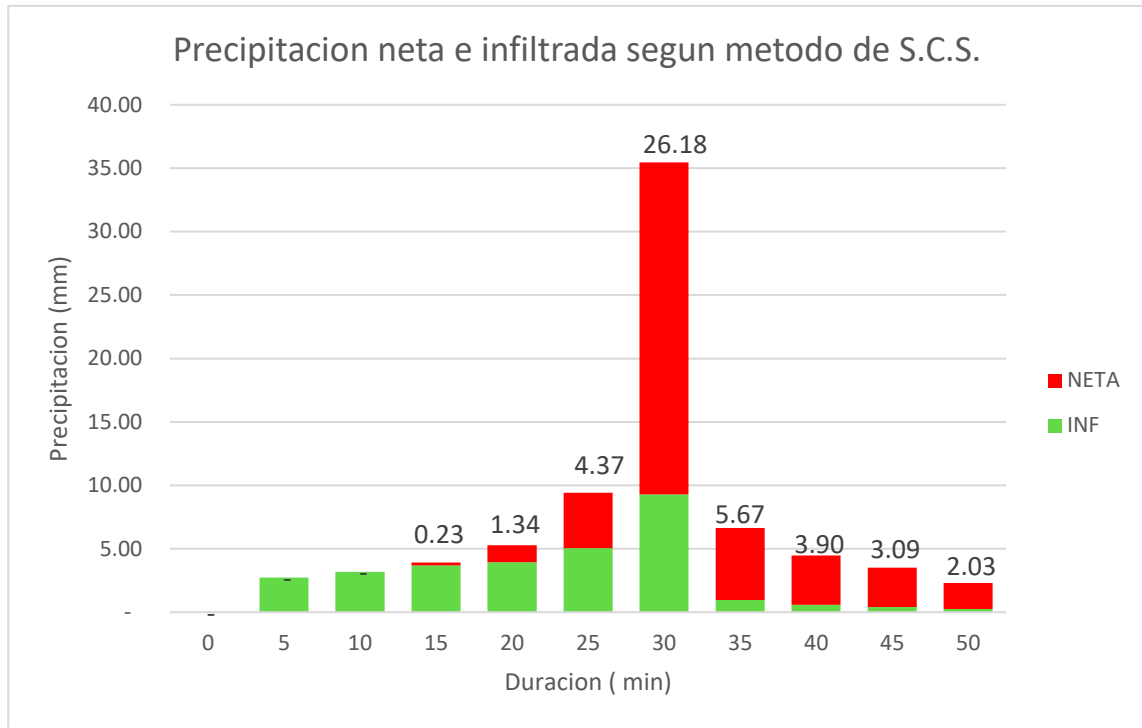
Región Andina	
a	0.94
b	0.18
c	0.66
d	0.83

4.7 HIETOGRAMA DE PRECIPITACION NETA

Con los datos de la intensidad para un periodo de retorno de 100 años, se generó la lluvia de diseño por bloque alterno (ver

Apéndice 8). En la Figura 4-5, se observa el hietograma para la precipitación para un tiempo de retorno de 100 años, y un pico al 50%. Hasta los 10 primeros minutos toda el agua lluvia que cae se infiltra, a partir de este punto hasta los 45 minutos, parte del agua se infiltra. Además, en el minuto 30, se presenta la mayor escorrentía e infiltración. Para separar las lluvias se utilizó la metodología del Soil Conservation Service, los cálculos se observan el

Apéndice 9.



**Figura 4-5. Hietograma de precipitación neta e infiltrada para la cuenca de estudio.
Fuente propia.**

4.8 OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Para la obtención de hidrograma unitario se utilizó el Hidrograma sintético triangular, el cual se observa en la Figura 4-6, se utilizó la metodología de Mockus – SCS, obteniendo una duración efectiva (d_e) de 5 minutos, un tiempo de rezago (t_r) de 22,5 minutos, un tiempo al pico (t_p) de 25 minutos, un tiempo base (t_b) de 66,75 mm y un caudal pico (q_p) v de 8,626 m³/s.

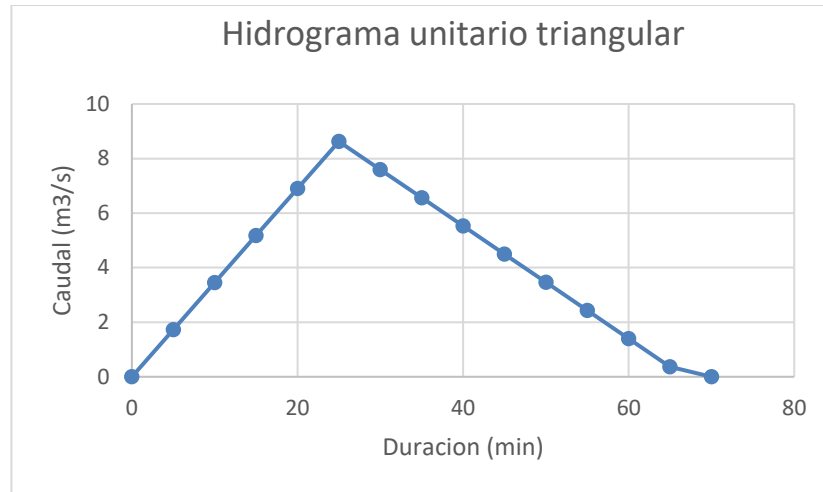
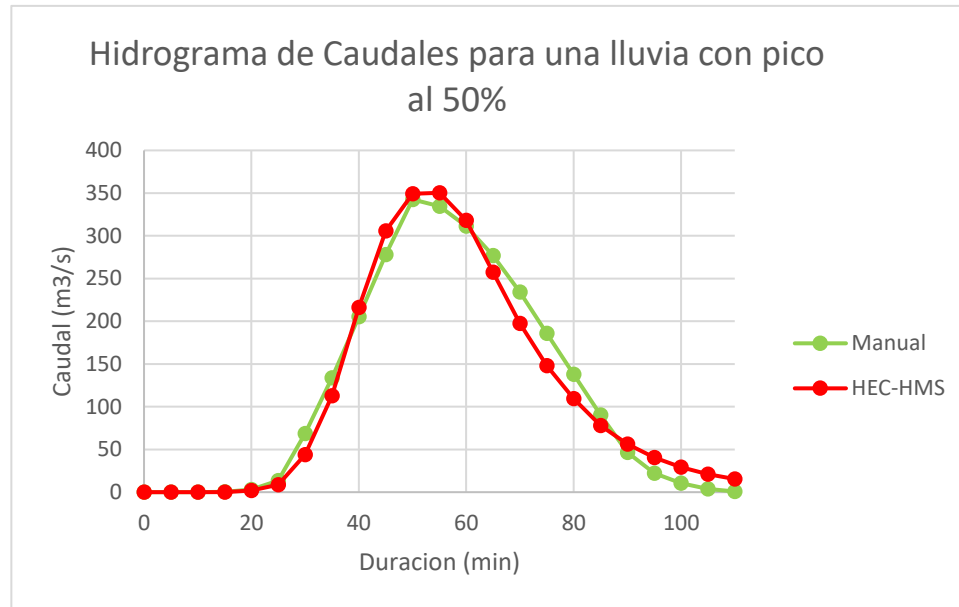


Figura 4-6. Hidrograma unitario triangular. Fuente propia

4.9 HIDROGRAMA RESULTANTE

En la Figura 4-7 se observan los hidrogramas resultantes por forma manual y por el HEC-HMS, este procedimiento se realizó de acuerdo a la metodología S.C.S. Para el proceso de forma manual se utilizó un hidrograma unitario triangular, mientras que el software HEC.HMS empleó un hidrograma unitario curvilíneo, por eso los resultados no son exactamente iguales, pero son bastante aproximados. El procedimiento del hidrograma de caudales de manera manual y por HEC-HMS se ven en el

Apéndice 10.



**Figura 4-7. Hidrograma de caudales resultantes de forma manual y por HEC-HMS.
Fuente propia**

4.10 MÉTODO RACIONAL

En el presente documento se utiliza el método racional con el fin de demostrar el error en que se incurriría en la estimación de caudales cuando el área de la cuenca supera las 80 Ha. La ecuación que representa el método racional es:

$$Q_p = 0,278 * C * i * A$$

En donde:

Q_p = Caudal máximo de escurrimiento (m^3/s)

C = Coeficiente de escurrimiento.

i = Intensidad (mm/h)

A = área de la cuenca (Km^2)

En dicha ecuación, el coeficiente de escurrimiento (C) representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y Q_p es el gasto máximo posible que puede producir una lluvia de intensidad i en una cuenca de área A . (Aparicio Mijares F.J, 2016).

De acuerdo con la definición anterior, C se puede calcular como el cociente entre la precipitación efectiva y la precipitación total. En el presente informe se adoptó como precipitación total la que ocurriría para un periodo de retorno de 100 años, es decir: 141.64mm (ve numeral 4.4.3). Utilizando las ecuaciones propias del método de curva número (con

CN=88.39) se encuentra que para una precipitación total de 141.64mm, la lluvia efectiva será 108.22mm. Por lo tanto el coeficiente de escorrentía será: 0.764.

En lo que respecta al cálculo de la intensidad, si se utilizan los coeficientes a, b, c y d mostrados en la Tabla 4-6; junto con un periodo de retorno (T) de 100 años; una precipitación máxima en 24 horas promedio multianual de 86.47mm (M) y una duración (t) de 37,5 minutos (Tabla 4-3); la intensidad resulta ser: 118.97 mm/h.

De esta manera para una área (A) de 17,284 Km², un coeficiente de escorrentía (C) de 0.764 y una intensidad (i) de 118.97 mm/h el caudal según la ecuación del método racional resultaría ser: 436.77 m³/s.

4.11 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 4-7 se pueden apreciar los caudales máximos obtenidos por cada método. En cuanto a los resultados de forma manual y por medio de HEC-HMS, estos son bastantes parecidos, aunque su diferencia radica que se emplearon diferentes hidrogramas unitarios: Uno triangular y el otro curvilíneo.

Al realizar la comparación con el método racional, se encuentra que el dato de caudal máximo encontrado difiere a los datos de los métodos comparados, esto debido a que es un método que mantiene una restricción solamente aplicables en cauces que drenen menos de 80 hectáreas, esto quiere decir que para el análisis de nuestra microcuenca, no sería un método confiable. (FAO, 1990)

Tabla 4-7. Comparación de los caudales máximos por diferentes métodos. Fuente propia

Método	Caudal máximo (m3/s)
Manual	342.57
HEC HMS	350.39
Método racional	436.77

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada el diamante arroja que esta corresponde a un sector hidrológico con un área de 17,28 Km², con una pendiente del 46,71%, con un piso térmico frío en la parte alta, mientras que en la parte baja se ubica un piso térmico templado. Esta cuenca tiene una forma alargada y de acuerdo con la curva hipsométrica se encuentra en estado de madurez, por lo cual posee un mayor proceso de erosión en su parte alta.
- El método del hidrograma unitario triangular (utilizado para realizar el proceso de forma manual) y el hidrograma unitario curvilíneo (utilizado por el software HEC-HMS) arrojan resultados similares.
- Los caudales máximos generados en el sector hidrológico de la quebrada el Diamante, son fundamentales para el diseño de estructuras que permitan la protección de los pobladores, frente a eventos de inundaciones, los cuales si se llegan a presentar y no se posee algún obra o estructura que permita su regulación, afectaría de manera negativa la calidad de vida de los mismos.
- Se realizó el cálculo del número de curva- CN ponderado como primer acercamiento a temas agrológicos. Por ser un suelo con unas arenas muy finas, limos y contenidos de arcillas, se clasifica como un suelo tipo C: Suelos con tasa de infiltración y permeabilidad moderada. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
- Los resultados del modelo HEC-HMS son de gran auxilio y pueden ser utilizados como condiciones de entrada en el modelo HEC-RAS para lograr simulaciones de Zonas de inundación.
- Con el análisis de método racional, se determina que el caudal máximo encontrado, es mayor que los otros caudales máximos encontrados con los otros medios evaluados (manual y HEC HMS). Lo anterior porque no se cumple con la restricción del área establecida para el método racional de que el área de la cuenca debe ser menor a 80Ha.

BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía municipal de Hato Corozal. (2012). *Plan de gestión del riesgo de desastres del municipio de Hato*. Hato Corozal: Consejo Municipal de gestión del riesgo de desastres del municipio de Hato Corozal.
- Aparicio Mijares F.J. (2016). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa.
- Aparicio Mijares, F. J. (2016). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Editorial Limusa.
- Bastidas, C. (2005). *Manual para el uso del modelo hidrológico HEC-HMS*. Universidad Central de Venezuela .
- Camargo Osorio, W. C. (2016). *Implementación de modelación hidráulica con fines de pronóstico hidrológico*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Carvajal Gómez, A. C. (2014). *Estimación de Caudales Máximos en Contexto de Cambio Climático*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá , Colombia: Mc Graw - Hill.
- Duran Sarmiento, C., García Troya, E., Panchano Ramon, A., Terán Reyes, A., & Ullauri Ortega, U. (2015). *Método del Hidrograma Unitario*. Universidad de Guayaquil.
- Estrada Sifontes, V., & Pacheco Moya, R. (2012). *Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba*. CIH.
- FAO. (1990). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas* . Roma: Organización de Naciones Unidas para la agricultura y alimentos.
- Gómez, E., & Castillo, H. (2005). *Aplicación del modelo computacional HEC-HMS en la estimación de caudales máximos en la cuenca del río frío Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Martínez Ortega, E. F. (2014). *Modelación hidrológica de la cuenca alta del río Atrato mediante HEC-HMS, para la determinación de caudales máximos*. Bogotá: IDEAM.
- Mochica Mamani, E. (2013). *Análisis de máximas avenidas con fines de diseño de defensa del río Chichanaco de la ciudad de Sandia*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Modelos hidrológicos aprobado por FEMA*. (s.f.).
- Nanía, L. S. (2007). *Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1*. Granada: Universidad de Granada.

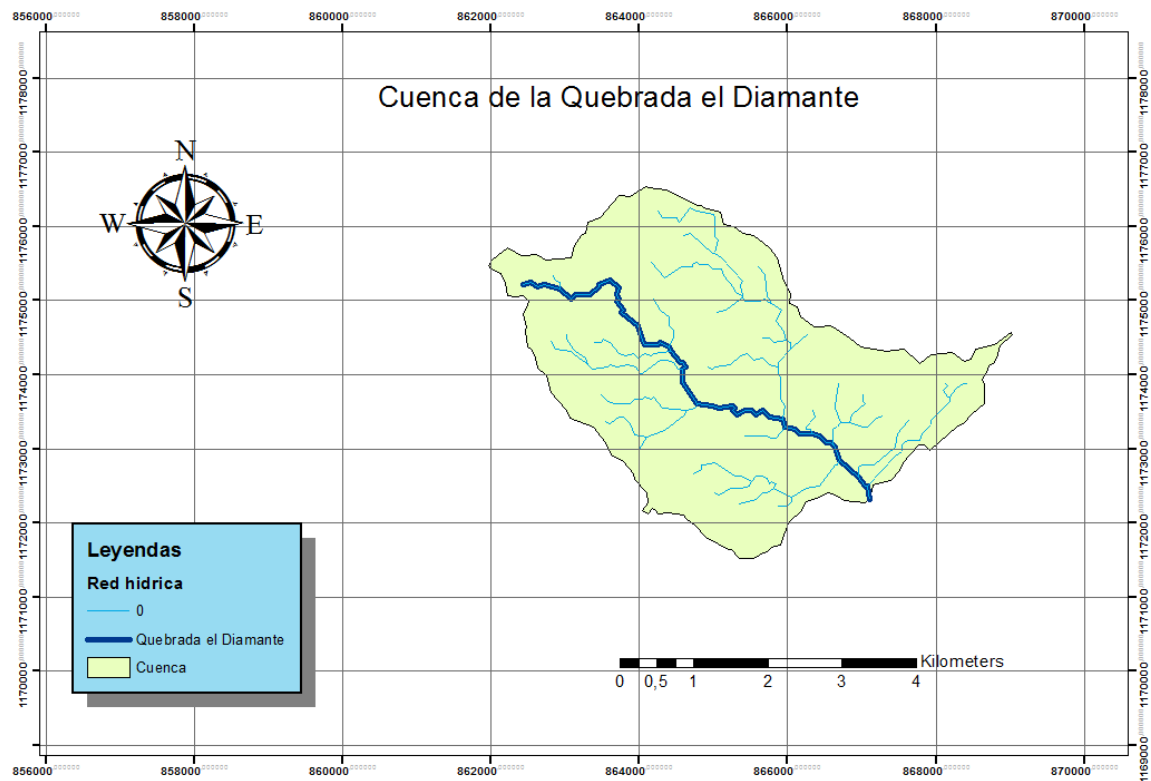
Ortega, E. F. (2014). *MODELACIÓN HIDROLOGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO ATRATO*. Bogotá.

Rojo Hernández, J. D. (s.f.). *Morfometría de cuencas*. Antioquia: Recursos hidráulicos.

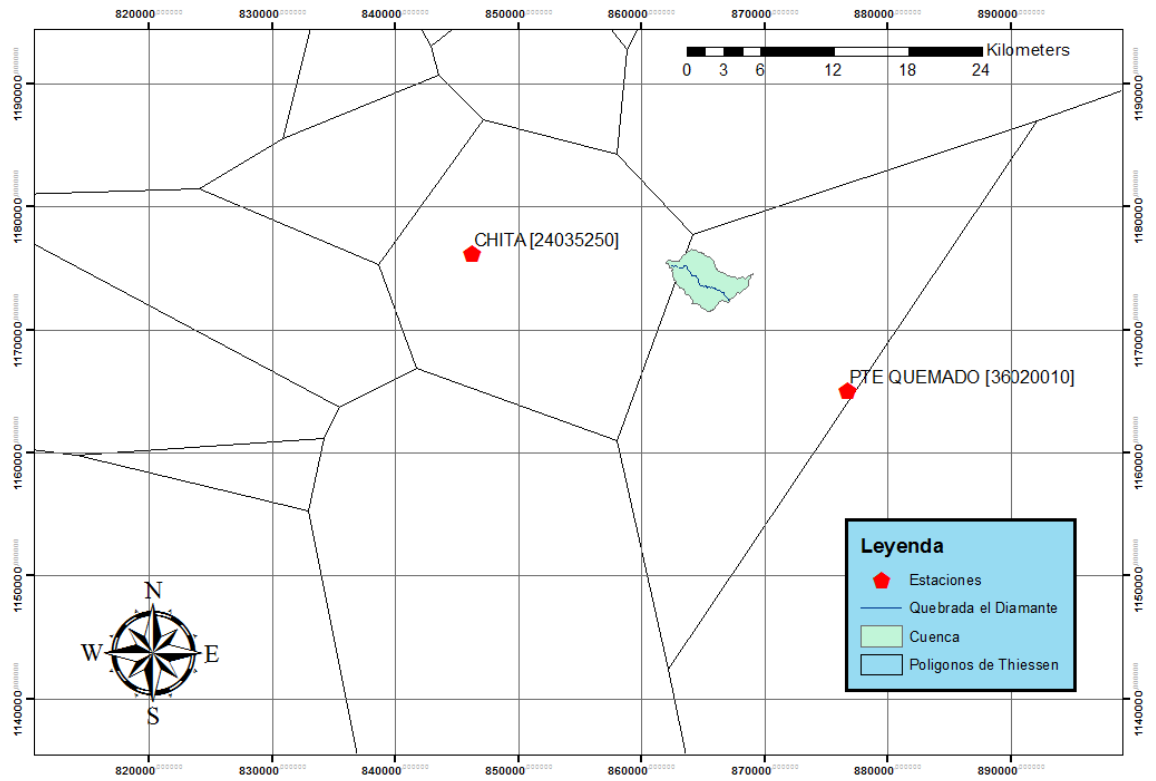
Sistema de información ambiental de Colombia SIAC www.siac.gov.co

APÉNDICES

Apéndice 1. Localización general de la cuenca



Apéndice 2. Estaciones de influencia y polígonos de Thiessen.

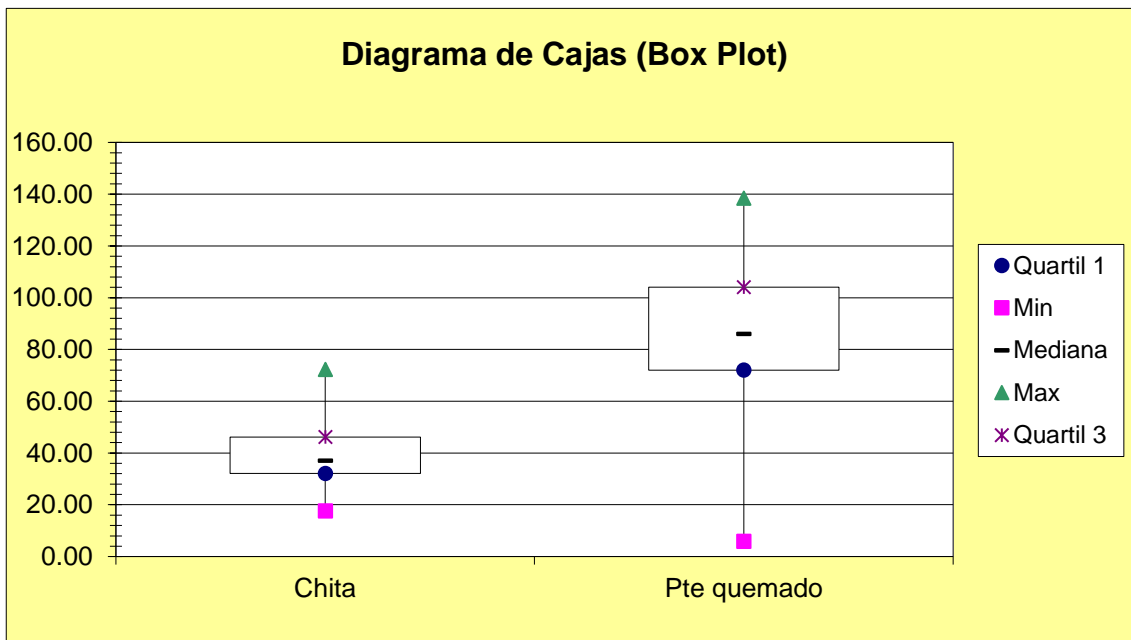


Apéndice 3. Revisión de datos de estaciones de influencia

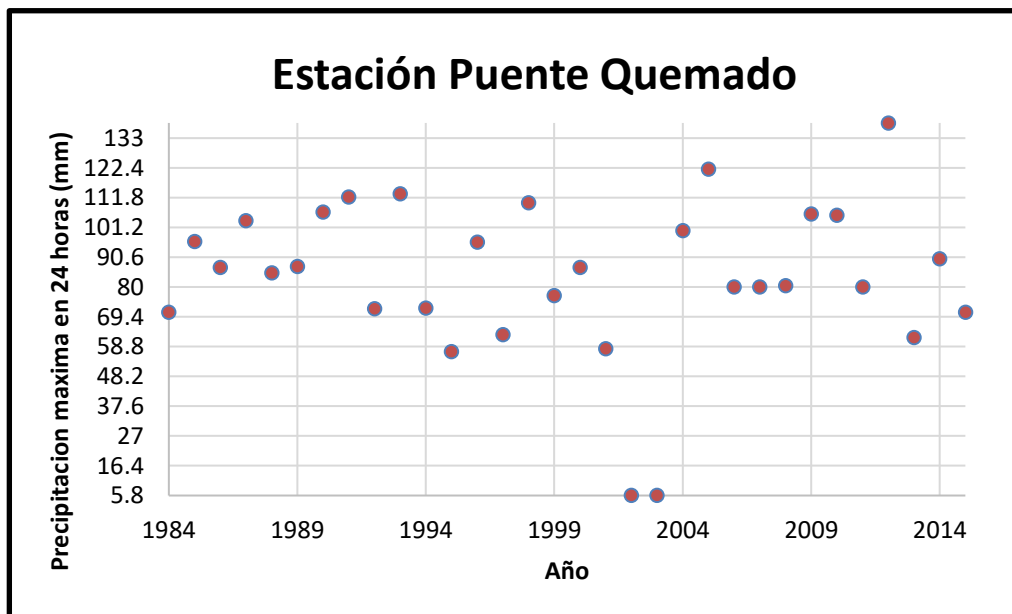
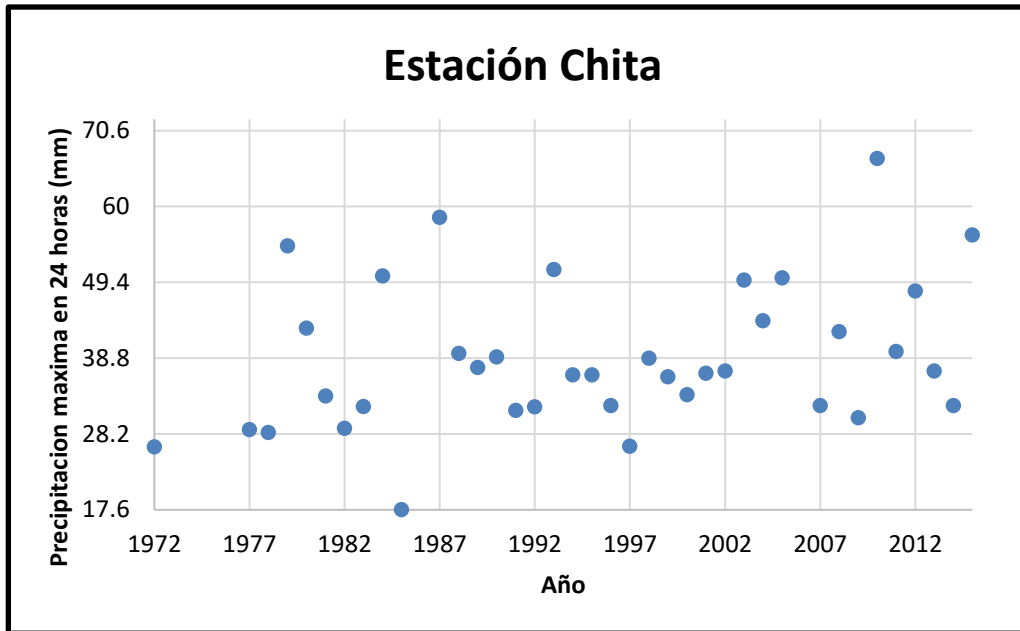
3. Revisión de datos atípicos

3.1. Método Caja y Bigotes

Datos y Cálculos Estadísticos		
Estadísticos	Chita	Pte. quemado
Quartil 1 (mm)	32.12	72.01
Min (mm)	17.63	5.80
Mediana (mm)	37.00	86.02
Max (mm)	72.23	138.40
Quartil 3 (mm)	46.12	104.08
Rango RI (mm)	14.00	32.07
a	-9.885	-24.205
b	11.115	23.9
c	67.115	152.18
d	88.115	200.285



A continuación las gráficas de dispersión de datos suministrados por cada estación presente en el área de la microcuenca.



Solamente para la Estación Puente Quemado se encuentran dos datos con una dispersión anormal, los cuales de acuerdo al análisis posterior, no afectan el análisis estadístico a considerar.

3.2. Método Water Resources Council -WRC -U.S

Estadísticos	Chita	Pte quemado
Mediana Y (mm)	1.58	1.87
Desviación Estándar (mm)	0.12	0.30
Coefficiente de Asimetría (adimensional)	0.04	-3.19
YH (+)	1.26	2.65
Kn * (adimensional)	2.661	2.577
XH (+)	18.16	443.80

(+) Las unidades estadísticas definidas están en términos del log10 de los datos de precipitación máxima anual para cada estación (mm).

Conclusión: No eliminar datos atípicos

***Valores de Kn (Chow, 1994)**

Valores K_n para la prueba de datos dudosos

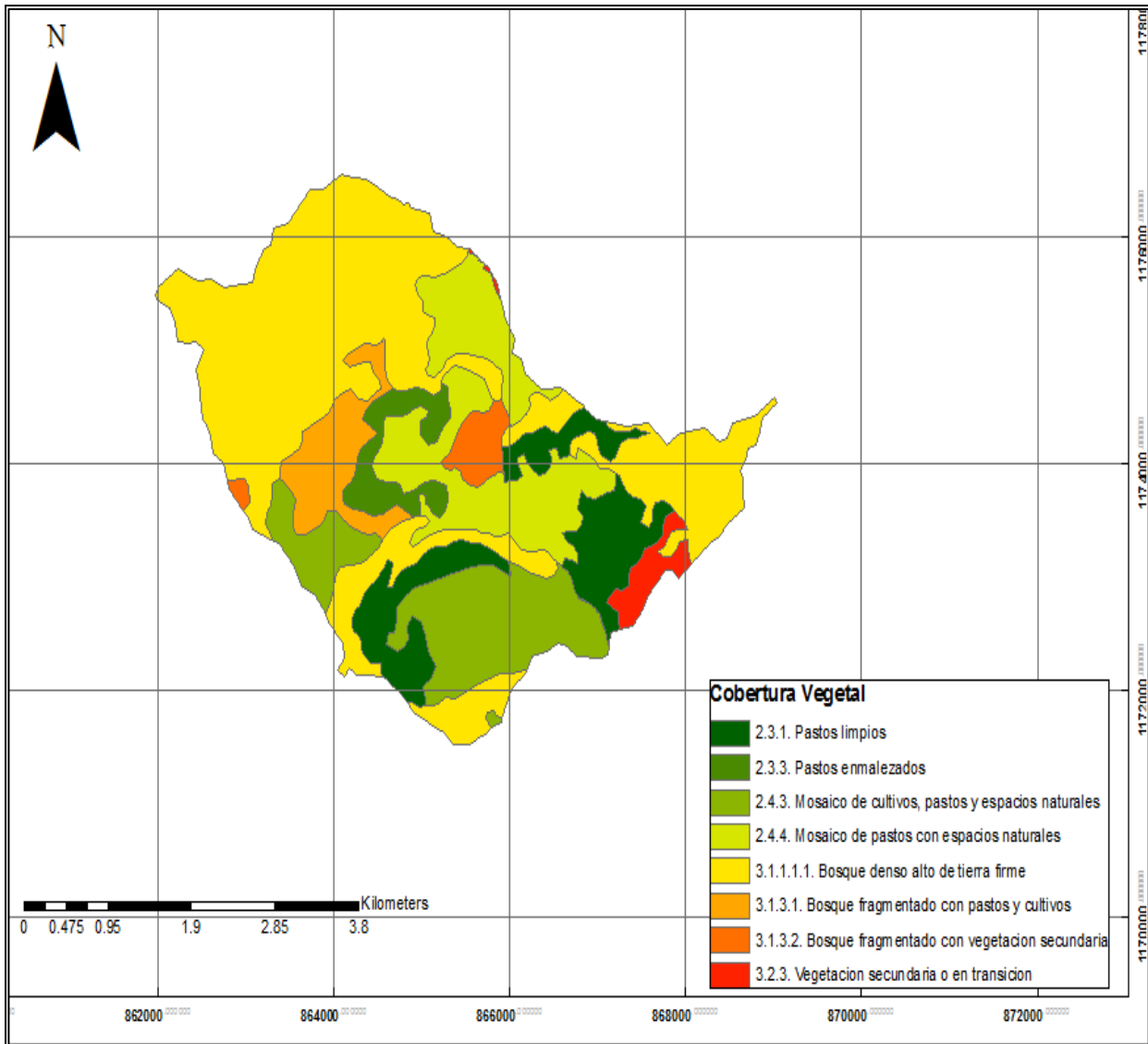
Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada (Primera ed.). (J. G. Saldarriaga Valderrama, Trad.) 47 Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

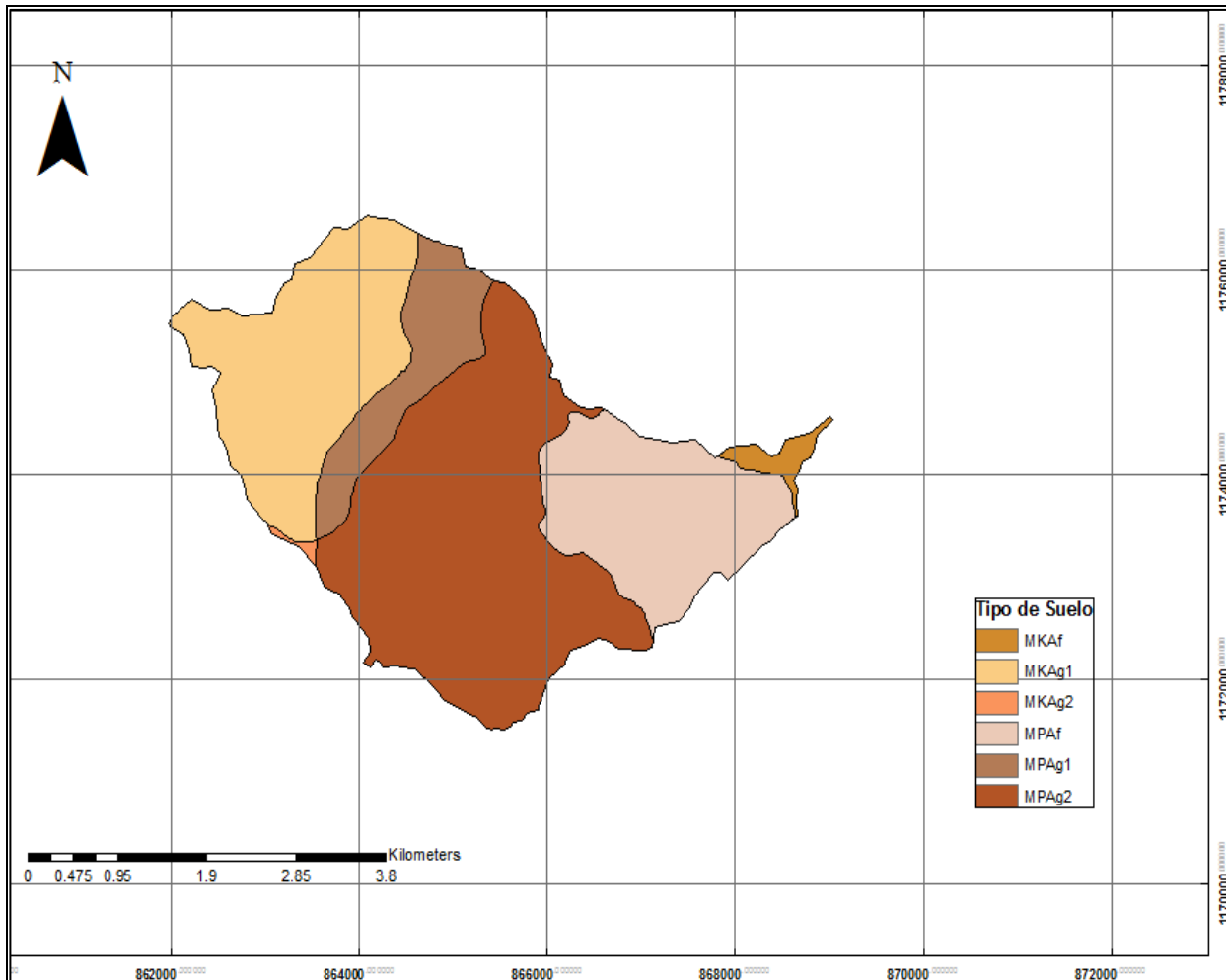
Apéndice 4. Tipos de Cobertura vegetal y distribución espacial en la cuenca

TIPO DE COBERTURA VEGETAL	AREA (Km ²)	AREA (%)
Bosque denso alto de tierra firme	7.814	45.2%
Mosaico de pastos con espacios naturales	2.701	15.6%
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0.970	5.6%
Bosque fragmentado con vegetacion secundaria	0.397	2.3%
Pastos enmalezados	0.623	3.6%
Pastos limpios	2.016	11.7%
Vegetación secundaria o en transición	0.336	1.9%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.423	14.0%



Apéndice 5. Tipos de suelo y distribución espacial en le cuenca.

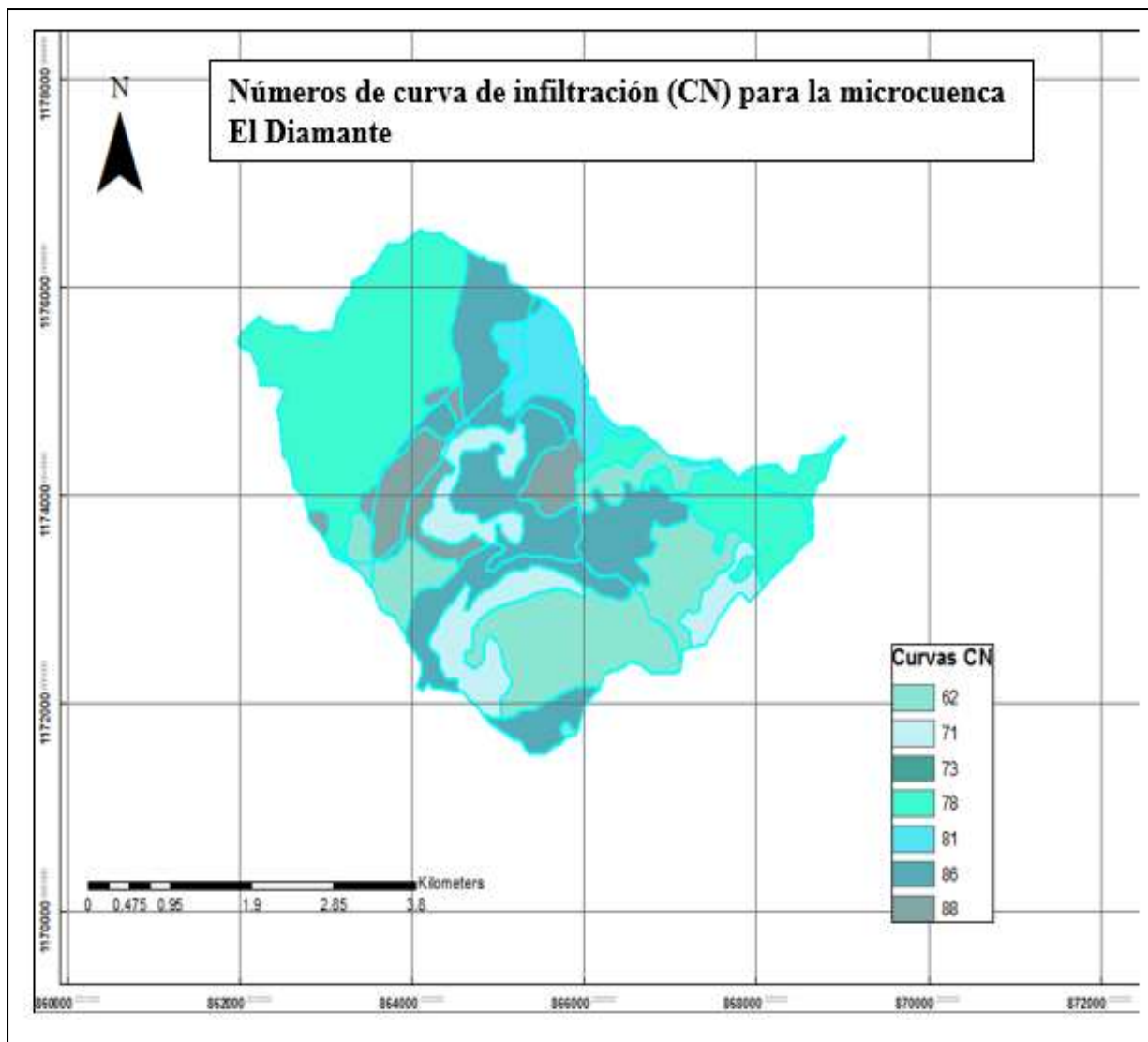
TIPO DE SUELO	MATERIAL PARENTAL	TEXTURA	CLIMA	PAISAJE	AREA (Km2)	AREA (%)
MKAf	Rocas sedimentarias (areniscas y lutitas)	Fina	Frío muy húmedo	Montaña	0.000270	2%
MKA_{g1}	Rocas sedimentarias (areniscas, arcillolitas y lutitas)	Media y fina	Frío muy húmedo	Montaña	4.253	25%
MPAf	Rocas sedimentarias (areniscas cuarzosas)	Media	Templad o muy húmedo	Montaña	3.455	20%
MPA_{g1}	Rocas sedimentarias (areniscas, arcillolitas y lutitas)	Media y gruesa	Templad o muy húmedo	Montaña	1.658	10%
MPA_{g2}	Rocas sedimentarias (areniscas, arcillolitas y lutitas)	Media y gruesa	Templad o muy húmedo	Montaña	7.613	44%



Apéndice 6. CN según la combinación de cobertura vegetal y tipo de suelo en la cuenca.

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	CLASIFICACION	AREA (Km ²)	AREA (%)	CN	CNII
Bosque denso alto de tierra firme	MPAg2	C	1.126	6.51%	86	5.60
Mosaico de pastos con espacios naturales	MPAf	C	0.747	4.31%	86	3.71
Mosaico de pastos con espacios naturales	MPAg2	C	1.041	6.01%	86	5.17
Mosaico de pastos con espacios naturales	MPAg1	C	0.147	0.85%	81	0.69
Mosaico de pastos con espacios naturales	MPAg2	C	0.771	4.46%	81	3.61
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	MKA _{g1}	C	0.098	0.57%	88	0.50
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	MPAg1	C	0.551	3.18%	88	2.80
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	MPAg2	C	0.331	1.91%	88	1.68
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	MPAg2	C	0.355	2.05%	88	1.80
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	MKA _{g1}	C	0.049	0.28%	88	0.25
Pastos enmalezados	MPAg2	C	0.612	3.54%	71	2.51
Pastos limpios	MPAg2	C	0.845	4.88%	71	3.46
Vegetación secundaria o en transición	MPAf	C	0.331	1.91%	71	1.36
Pastos limpios	MPAf	C	0.379	2.19%	62	1.36
Pastos limpios	MPAf	C	0.796	4.60%	62	2.85
Vegetación secundaria o en transición	MPAg2	C	0.012	0.07%	62	0.04
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	MPAg2	C	1.836	10.61%	62	6.58
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	MKA _{g1}	C	0.122	0.71%	62	0.44
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	MKA _{g2}	C	0.024	0.14%	62	0.09
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	MPAg2	C	0.441	2.55%	62	1.58
Bosque denso alto de tierra firme	MKA _f	C	0.269	1.56%	78	1.21
Bosque denso alto de tierra firme	MKA _{g1}	C	3.991	23.06%	78	17.98
Bosque denso alto de tierra	MKA _{g2}	C	0.012	0.07%	78	0.06

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	CLASIFICACION	AREA (Km ²)	AREA (%)	CN	CNII
firme						
Bosque denso alto de tierra firme	MPAf	C	1.212	7.00%	78	5.46
Bosque denso alto de tierra firme	MPAg1	C	0.943	5.45%	86	4.68
Bosque denso alto de tierra firme	MPAg2	C	0.269	1.56%	86	1.34
		TOTALES	17.29	100%		76.8
$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0,13 * CN(II)}$			CN Ponderado (II)		88.39	
			CN Corregido (III)			



Apéndice 7. Calculo de la curva IDF sintética

Dado que la ubicación de la cuenca queda en la Región andina, se utilizan los siguientes valores de coeficientes:

Región andina (R1)	
a	0.94
b	0.18
c	0.66
d	0.83

El máximo ponderado “M” es de 86.47.

Duración (min)	Valores de intensidad máxima para diferentes periodos de retorno (Tr)				
	Cuenca de estudio				
	5	25	50	75	100
5	248.133	331.511	375.564	403.999	425.470
10	157.038	209.806	237.686	255.682	269.271
15	120.167	160.546	181.879	195.650	206.048
20	99.386	132.782	150.426	161.816	170.416
25	85.776	114.598	129.827	139.656	147.078
30	76.051	101.606	115.108	123.823	130.404
35	68.694	91.777	103.973	111.845	117.789
40	62.899	84.035	95.202	102.410	107.852
45	58.195	77.750	88.081	94.750	99.786
50	54.285	72.527	82.164	88.385	93.083

Apéndice 8. Bloque alterno

d(mm)	i(mm/h)	lluvia acumulada(mm)	lluvia neta(mm) bloques no ordenados	d(min)	lluvia neta ordenada(mm)
a	b	$c=(a*b)/60$	$d_i=c_i-(c_{i-1})$	e	f
5	425.470	35.46	35.46	5	2.73
10	269.271	44.88	9.42	10	3.19
15	206.048	51.51	6.63	15	3.92
20	170.416	56.81	5.29	20	5.29
25	147.078	61.28	4.48	25	9.42
30	130.404	65.20	3.92	30	35.46
35	117.789	68.71	3.51	35	6.63
40	107.852	71.90	3.19	40	4.48
45	99.786	74.84	2.94	45	3.51
50	93.083	77.57	2.73	50	2.94

Apéndice 9. Procedimiento del hietograma de precipitación neta e infiltración.

CN	88.39
S	34.636
Ia	6.927

Duración (min)	Lluvia (mm)	Lluvia acumulada (mm)	Lluvia efectiva acumulada (mm)	Efectiva neta (mm)	P infiltrada (mm)
0	0	0	0	-	-
5	2.73	2.73	0	-	2.73
10	3.19	5.92	0	-	3.19
15	3.92	9.84	0.226	0.23	3.69
20	5.29	15.13	1.571	1.34	3.95
25	9.42	24.55	5.943	4.37	5.05
30	35.46	60.01	32.123	26.18	9.28
35	6.63	66.64	37.792	5.67	0.96
40	4.48	71.12	41.695	3.90	0.58
45	3.51	74.63	44.789	3.09	0.42
50	2.29	76.92	46.822	2.03	0.26

Apéndice 10. Calculo del hidrograma de caudales

10.1. Hidrograma unitario triangular

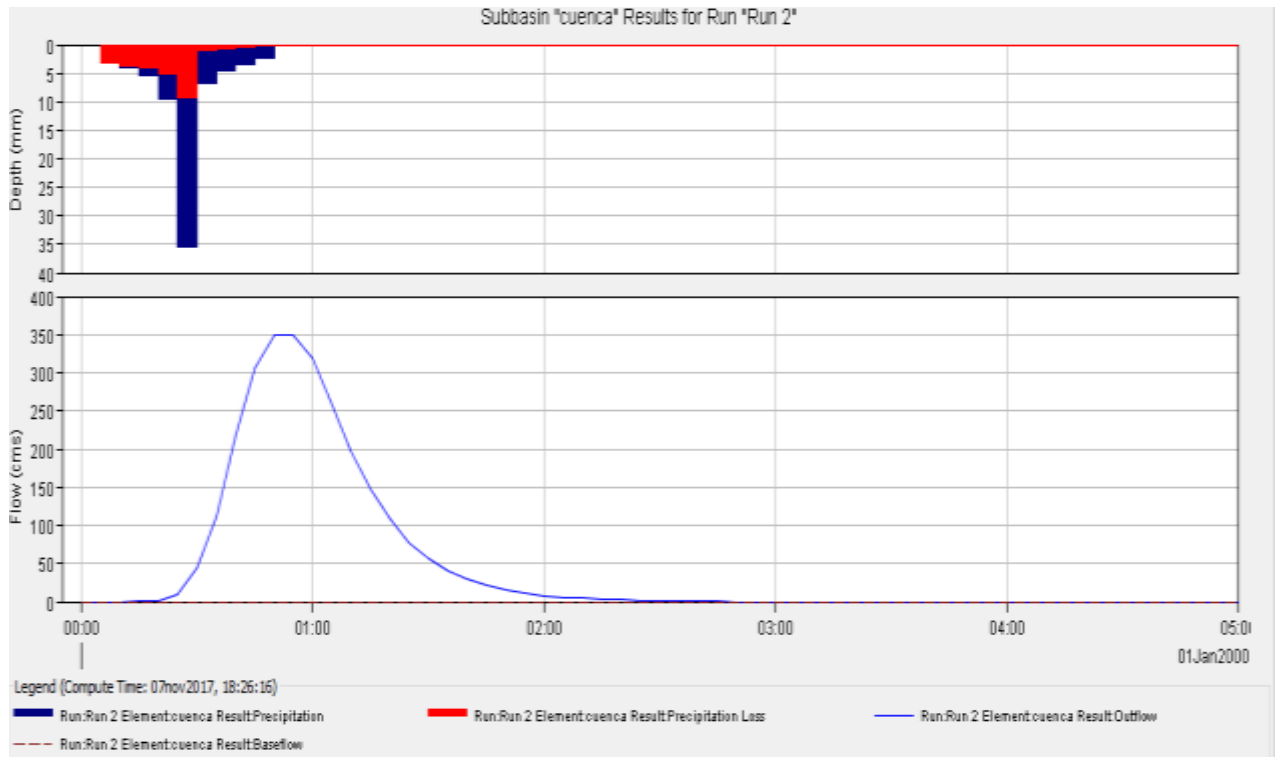
Duración (min)	Caudal (m ³ /s)
0	0
5	1.725
10	3.451
15	5.176
20	6.901
25	8.625
30	7.593
35	6.559

Duración (min)	Caudal (m ³ /s)
40	5.527
45	4.493
50	3.461
55	2.428
60	1.395
65	0.361
70	0

10.2. Hidrograma de caudales de forma manual

Duración Lluvia neta	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Duración (min)	Caudales	
	0	0	0.226	1.345	4.372	26.180	5.669	3.904	3.094	2.033		Manual	HEC-HMS
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
			0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
			0.390	0	0	0	0	0	0	0	15	0.390	0.2
			0.780	2.320	0	0	0	0	0	0	20	3.099	1.77
			1.169	4.640	7.543	0	0	0	0	0	25	13.352	8.66
			1.559	6.960	15.085	45.166	0	0	0	0	30	68.770	43.8
			1.949	9.279	22.628	90.332	9.780	0	0	0	35	133.968	112.66
			1.716	11.598	30.171	135.497	19.560	6.734	0	0	40	205.276	216.33
			1.482	10.210	37.709	180.663	29.340	13.469	5.337	0	45	278.211	305.8
			1.249	8.821	33.197	225.803	39.120	20.203	10.674	3.508	50	342.576	349.2
			1.015	7.432	28.680	198.783	48.895	26.938	16.012	7.016	55	334.771	350.39
			0.782	6.043	24.164	171.738	43.044	33.669	21.349	10.524	60	311.312	318.27
			0.549	4.654	19.647	144.693	37.188	29.640	26.683	14.032	65	277.085	257.6
			0.315	3.264	15.131	117.647	31.331	25.607	23.490	17.538	70	234.324	197.57
			0.082	1.875	10.614	90.602	25.475	21.575	20.294	15.440	75	185.956	148.19
			0	0.486	6.097	63.557	19.619	17.542	17.098	13.339	80	137.738	109.27
			0	0	1.581	36.511	13.762	13.509	13.902	11.238	85	90.504	78.11
			0	0	0	9.466	7.906	9.477	10.706	9.138	90	46.693	56.32
			0	0	0	0	2.050	5.444	7.510	7.037	95	22.041	40.65
			0	0	0	0	0	1.411	4.314	4.937	100	10.662	29.26
			0	0	0	0	0	0	1.119	2.836	105	3.954	21.14
			0	0	0	0	0	0	0	0.735	110	0.735	15.3
			0	0	0	0	0	0	0	0	115	0	11.05

10.3. Hidrograma de caudales obtenido por HEC-HMS



ANEXOS

Anexo 1. Datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación Puente quemado (36020010)

VALORES MAXIMOS DE PRECIPITACION EN 24 HORAS (mm)												
NOMBRE: PTE QUEMADO		ESTACION: 36020010										
LATITUD	0605 N		TIPO EST: PM				DEPTO: CASANARE					
LONGITUD	7211 W		ENTIDAD: 01 IDEAM				MUNICIPIO: SAMACA					
ELEVACION	1020 msnm		REGIONAL: 06 BOYACA CASANAERE				CORRIENTE: CASANARE					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB	OCTUBRE	NOVIEMB	DICIEMBR
1984			71	37.4	56.7	32			9.73	12.1	32.8	7.9
1985	0	3.9	18.1	14.5	9.7	9.8	96.2		8.7	8.7	8.5	1.8
1986	1.3	1.4	33	87	73	80.7	83	58.3		62	36	39
1987	84	34	32	42	44	45	103.6	62	52	51	42	29
1988	0	10.4	10.5	45.5	67	85		83		68		
1989	24	33	78	46.3	87.3	53	43	50.5	50.7	49.8	37.5	21.7
1990	31	53	49	64.7	68	66	56	47.2	57	106.7	60.5	40
1991	0	23.8	21.6	23	90	48	43	43	112	32.7		
1992	5.6	51.5	21	57	34.9	43.6	72.3	23.1		31.5	29.8	10.4
1993	17.9	11.7	28.7	69	97	113.2	34.5	27.2	97.2	87.4	56.6	25.8
1994	12.3	54.2	32.8	43.63	56.5	45.5	43.3	41.7	61.2	40.5	37.9	72.5
1995	57	0	36.5	35.3	54	52.03				38.6	24.6	10.9
1996	3.4	26.3	20.9	31.8	31.5	32.8	36.2			96	68	30
1997	12	35	27	42	48	53	59	43	63	52	28	0
1998	0	31	49	69	87	78	70	110	47	84	72	31
1999	18	42	23	45	56	42	42	28	45	48	77	36
2000	18	23	36	42	42	46	42	43	46	87	54	49
2001	0	0	23	42	58	57	46	42	43	58		
2002	0.7	0	4.8	5.7	5.9	5.9	5.8	4.9	4.9	4.8	4.9	2.5
2003	0	3.5	2.7	4.5	5.8	5.8	4.8	5.3	5.3	5.3	3.5	0.6
2004				50	66	85	100	39	44	65	41	7
2005	38	13	18	52	87	122	99	50	36	42	21	12
2006	29	11	13	33	47	57	42	70		72	80	25
2007	10	15	10.4	37	20	33.5	68	80	15	45.7	36.3	
2008	1	10	15	44.5	30	58	30	40	50	80.5		
2009	12	10	43	33	106	48.5	40	50	50.7	38	51	5
2010	0.5	1	84.5	68	61.5	50	105.5	78.5	78.6	30.5	50	0.7
2011	2.2	3	12	49.2	52	80	32	22	8.53	33	21	46.5
2012	2	32	20	138.4	86.5	35	68	38	40	35.1	25	18
2013	0	20	55	62	35	35		25	10	25.1	12.5	56.8
2014	2.3	2.5	2	30.5	90	50	55.8	18.8	36.8	28.5	25	52.5
2015	71	35	2.5	12.8	12.2	25.1	21.1	66.5	32.5	25	35	7.8
2016	0											

Anexo 2. Datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación Chita (36020010)

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION E 24 HORAS (MM)												
NOMBRE: CHITA			CODIGO: 24035250									
LATITUD	0611 N		TIPO: CO				DEPTO: BOYACA					
LONGITUD	7227 W		ENTIDAD: 01 IDEAM				MUNICIPIO CHITA					
ELEVACION	2888 m.s.n.m		REGIONAL BOYACA CASANARE				CORRIENTE QDA PENA BLANCA					
Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1972			19.7	19.9	20.5	20	26.4	15.8	16.43	15.8		7.8
1973	5.8	0	3.7	18	8.1	18.1	25.1	22.9	20.2	16.6	24.5	12.7
1974	8.9	8.5	16.9	23.2	28.3	29.63	22.2	10.7	10.6	18.13	15	
1975	0.2	20.4	10	27.2	19.03	28.6	36.73	14.7	12.6	26.3	44.5	24.1
1976	4.53	16.6	17.2*		22.8	46	38.7	21.6	15.2	28.2	23.8	7.3
1977	0	0.8	7*		11.43	23.7	17.4	25.8	20.5	28.83	19.5	7.3
1978	7.5	8.4	19.2	26.1	28.4	14	17.63	10	22.4	27.9	10	7.83
1979	0.5	7.13	15.53	54.53	22.4	38.6	21.63	21.8	13.03	46.4	35	7.5
1980	6.4	21.9	6.7	18.9	15.23	39.9	27.23	17.4	24.7	18.71	43	31.5
1981	0	12.6	11.2	33.5	29.6	19.4	13.9	27	30	25	11.9	5.93
1982	22.24	2.5	4		23.64	10.54	29.04	16.33	12.44	17.53		
1983			11.2	27.21	18.03	5.23	32	22.83*		13	11	7.73
1984	1.4	8.5	6.2	50.3	23.01	8.5	21.1	10.3	24.81	37	18.1	25.2
1985	12	5.6	17.2		8	6	16.6	17.61	12.71			
1987	2	14	18	30.6	43	29.5	24.8	7.3	16.1	22.8	58.5	14.6
1988	0.31	2	5.9	17.5	27.31	13.01	25.91	25.4	18	39.5	32.5	16.3
1989	3	16.1	37.5	7	22.3	24.2	21.5	21.5	21	10.2	10.5	19
1990	2.51	19.3	12	39	24.6	26.5	16.4	15.5	19.3	24.5	28.5	20.5
1991		18.5	20	9.9	18.5	13.3	28.7	27	31.5	14.5	21.2	7.6
1992	2.61	4.8	3.5	18.7	9.3	24.2	32	30.5	19.5	10.2	28.3	5.3
1993	7.4	3.6	18.7	45.2	32.6	33.7	20.7	9.61	15.8	8.3	51.2	6.8
1994	4.2	7.2	9.5	19.2	23.8	22.8	36.5	20	34	15.5	19.2	3.3
1995	4.9	8	12.2	29	16	22.5	17.1	21	15.5	22.4	7.1	36.5
1996	6.5	9.6	24	12.6	32.2	17	23.21	22.2	7.3	24	14.6	5.7
1997	6.2	3.2	14.2	6	20	23	24.1	18.8	12.8	26.5	5.2	3.5
1998	7.8	35	25	19.2	38.8	24	14	16	15.5	21	22.5	0
1999	23.3	33.3	11.2	36.2	15.5	19.2	30.6	18.5	34.2	26.8	25.4	19.8
2000	10.7	14.6	33.7	32.2	19.5	32.6	17.8	16.5	23	16.6	21	24.3
2001	0	5.4	7.7	8.8	16	20.7	23.3	17.7	17	36.7	20.3	13.2
2002	13.3	8.7	6.2	37	32.8	26	19.5	30.9	9.7	21.6	7.8	21.8
2003	0.4	1.3	30.03	11	16.4	15	17.93	9.5	14.4	49.7	21.3	17.5
2004	16	29.4	11.8	33	38	35.33	37	21.53	29.6	44	14.2	2.63
2005	25.03	11.2	7.2	27.3	49	29.5	19	18.3	12.6	24	50	11.2
2006	6.7	2	21.3	32.2	72.2	37.83	18.7	18.7	16	26	18	31.6
2007	32.2	14.2	10	13.1	9.3	19.7	14.5	29	16.3	11.8	26.2	12
2008	7.7	12.2	6.8	30.5	42.5	16.1	21.7	21	19.2	21	31.8	11.4
2009	8.5	8.2	12.3	24	24.5	16.4	30.5	12.2	19.8	18.8	29.5	1.4
2010	0.5	7.2	14.8	49.5	24.2	35.5	35.5	17.03	25.4	38	66.7	35
2011	5.03	14.8	17.3	34.5	39.7	31	13.2	12	12	13.8	26.2	17.6
2012	17	3.4	22.5	48.2	26.5	17	29.7	17.8	15	29	23	7.5
2013	9.8	29.5	7.7	25.5	29.5	15.3	26.2	18	27.1	12	37	11.2
2014	5.7	17.5	9.9	15.6	12.3	28.7	23.8	31.3	22	32.2	20.5	8.6
2015	0		21.13		12.73	56	47.4					
2016			18	12.4	14.6	20	19	23				