



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIAS Y  
CONSTRUCCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS  
DE LA CIUDAD DE GUALACEO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: FABIÁN ANDRÉS ULLOA RODAS

DIRECTOR: ING. CIVIL DIEGO CORONEL SACOTO

CUENCA- ECUADOR

2015



## DECLARACIÓN

Yo, **Fabián Andrés Ulloa Rodas**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

Fabián Andrés Ulloa Rodas  
C.I. 0105132492-2



## CERTIFICACIÓN

Yo, **Ing. Civil Diego Coronel Sacoto** Certifico que el presente trabajo de titulación con tema "*EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE GUALACEO*" fue desarrollado por el señor **Fabián Andrés Ulloa Rodas**, bajo mi supervisión.

---

MSc. Ing. Civil Diego Fernando Coronel Sacoto  
Director del Trabajo De Titulación



*A mis Padres, Eusebio y Fabiola, que lo han dado todo por sus hijos, y nos han enseñado que la dedicación es la virtud del triunfo y que a una persona se lo conoce por sus principios y carácter respetuoso en todo momento.*

*A mi amada, Isabel, que me ha acompañado en la formación profesional, la cual no ha dejado de confiar en mí.*

*A mis hermanos, -especialmente- a Marlon el cual ha estado pendiente en el desarrollo profesional que me he encaminado.*



*Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director de Tesis, Ing. Civil Diego Coronel Sacoto, el cual a pesar del tiempo prestado no ha decaído su insistencia, motivación y ayuda, en la culminación de la presente investigación.*

*Agradezco a mis padres por el fruto sembrado, el estudio, el cual ha madurado en mi persona, a través de su apoyo incondicional.*

*Agradezco a Isabel Ulloa por la insistencia y apoyo para la terminación de esta etapa importante de la vida.*

*Agradezco a toda persona que se vio involucrada, directa e indirectamente en el desarrollo de esta investigación, Amigos, Profesores, Familiares y Colegas, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible la culminación del Trabajo.*



## INDICE

INDICE.....	VI
INDICE DE FIGURAS .....	VIII
INDICE DE TABLAS .....	IX
Resumen.....	XI
Abstract .....	XI
1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO .....	1
1.1. NOMBRE DEL PROYECTO.....	1
1.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	1
1.2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA Y SUPERFICIE.....	1
1.2.2. INDICES DEMOGRAFICOS .....	1
1.2.3. ACTIVIDAD ECONOMICA .....	1
1.2.4. CONSTRUCCIONES IMPORTANTES .....	2
1.3. INTRODUCCION .....	2
1.4. ANTECEDENTES .....	2
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO Y DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
2.1. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVO ESPECIFICO .....	3
2.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2.2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	3
2.2.1. HISTORIA DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN DE LA CIUDAD DE GUALACEO.....	3
2.2.2. UBICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE ESTUDIO DONDE SE GENERARÁN LOS CAUDALES .....	4
3. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA .....	6
3.1. CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS DE LA CUENCA DE ESTUDIO .....	6
3.2. UBICACIONES DE ESTACIONES DE MEDIDA DE PRECIPITACIONES .....	7
3.2.1. MEDICION DE LAS PRECIPITACIONES .....	7
3.3. RECOLECCION Y VALIDACION DE INFORMACION DE PRECIPITACIONES .....	10
3.3.1. Polígonos de Thiessen – Influencia de las Estaciones Meteorológicas.....	10
3.3.2. Estación Meteorológica Gualaceo-M139 .....	11
3.4. ESTUDIO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA.....	14
3.4.1. INDICES FISIOGRAFICOS .....	14
3.4.2. MODELOS HIDROLOGICOS .....	28



3.4.2.1.	<i>Proceso de Modelación</i> .....	28
3.4.2.2.	<i>Tipos de Modelos Hidrológicos</i> .....	28
3.4.2.3.	<i>Elección de los Modelos Hidrológicos</i> .....	29
3.4.3.	USOS ACTUAL DEL SUELO Y TIPO DE SUELO .....	30
3.4.4.	DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE CURVA .....	37
3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	47
3.5.1.	CORRELACION, ANALISIS Y PRUEBA DE DATOS DE PRECIPITACIONES.....	47
3.6.	ANALISIS PROBABILISTICO.....	58
3.6.1.	DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA NORMAL .....	59
3.6.2.	DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA LOGARÍTMICO NORMAL .....	59
3.6.3.	DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA LOG PEARSON III .....	60
3.6.4.	DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA GUMBEL.....	61
3.6.5.	RESUMEN DE LOS MÉTODOS PROBABILÍSTICOS DE DISTRIBUCIÓN .....	62
3.6.6.	ANÁLISIS DE ERRORES Y SELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD .....	63
3.7.	DETERMINACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA .....	69
3.7.1.	Estudio de Intensidades .....	70
3.8.	GENERACION DE CAUDALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO .....	77
3.8.1.	ELABORACIÓN DEL HIETOGRAMA DE DISEÑO .....	77
3.8.2.	DETERMINACION DE LAS ABSTRACCIONES POR EL METODO DE LA SCS.....	79
3.8.3.	ESCORRENTIA EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS.....	80
3.8.4.	MODELACION DE CAUDALES EN HEC-HMS.....	80
3.8.4.1.	Cuenca Hidrográfica de la quebrada Huayrapata. ....	82
3.8.4.2.	Cuenca Hidrográfica de la quebrada Ishcay .....	84
3.8.4.3.	Cuenca Hidrográfica de la quebrada Picay.....	86
3.9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	92
6.	ANEXOS .....	94
6.1.	ANEXO 1. ....	1
6.2.	ANEXO 2 .....	2
6.3.	ANEXO 3. ....	3
6.4.	ANEXO 4. ....	4
6.5.	ANEXO 5. ....	5
6.6.	ANEXO 6. ....	6
6.7.	ANEXO 7. ....	7



6.8.	ANEXO 8.	8
6.9.	ANEXO 9.	9
6.10.	ANEXO 10.	10
6.11.	ANEXO 11.	11

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los puntos de Estudio donde se generarán los caudales, ingreso al área urbana de la ciudad de Gualaceo.	5
Figura 2. Datos en ArcGIS otorgados por el GAD Municipal de Gualaceo	6
Figura 3. Componentes básicos de un Pluviómetro	7
Figura 4. Pluviógrafo de Cangilón	8
Figura 5. Pluviógrafo de Sifón.	9
Figura 6. Determinación de los Polígonos de Thiessen de las Estaciones Meteorológicas cercanas a la ciudad de Gualaceo.	11
Figura 7. Delimitación de la Quebrada Huayrapata	19
Figura 8. Histograma de Frecuencias Altimétricas de la cuenca de aportación de la Q. Huayrapata.	19
Figura 9. Curva Hipsométrica de la cuenca de aportación de la Q. Huayrapata.	20
Figura 10. Delimitación de la Quebrada Ishcay.	22
Figura 11. Histograma de Frecuencias Altimétricas de la cuenca de aportación de la Q. Ishcay.	22
Figura 12. Curva Hipsométrica de la cuenca de aportación de la Q. Ishcay.	23
Figura 13. Delimitación de la Quebrada Picay.	25
Figura 14. Histograma de Frecuencias Altimétricas de la cuenca de aportación de la Q. Picay.	25
Figura 15. Curva Hipsométrica de la cuenca de aportación de la Q. Picay.	26
Figura 16. Geomorfología de las cuencas hidrográficas de las quebradas. Fuente: GAD Municipal Gualaceo. Desarrollado por el Autor.	31
Figura 17. Tipos de Suelos de las cuencas de aportación de las quebradas. Fuente: GAD Municipal Gualaceo. Desarrollado por el Autor.	33
Figura 18. Geología de las cuencas de aportación de las quebradas. Fuente: GAD Municipal Gualaceo. Desarrollado por el Autor.	34
Figura 19. Clasificación del Grupo Hidrológico de las cuencas hidrográficas.	36
Figura 20. Variables del método de abstracciones de precipitación del SCS: $I_a$ = abstracción inicial, $P_e$ = exceso de precipitación, $F_a$ = abstracción continuada, $P$ = Precipitación total.	37
Figura 21. Tierra Cultivada en diferentes hileras en la cuenca de la quebrada Huayrapata.	40
Figura 22. Pastizales en condiciones pobres de la cuenca de la quebrada Ishcay.	40
Figura 23. Bosques con cubierta pobre de la cuenca de la quebrada Ishcay.	41
Figura 24. Bosques con cubierta buena de la cuenca de la quebrada Picay.	41
Figura 25. Todas las vías que existen en las cuencas hidrográficas son de Tierra.	42
Figura 26. Uso de Suelo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Huayrapata.	43
Figura 27. Uso de Suelo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Ishcay.	44
Figura 28. Uso de Suelo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Picay.	45
Figura 29. Resultado de la prueba de independencia de Anderson.	55
Figura 30. Resultados de la Distribución de Probabilidad de la Precipitación en función del Periodo de Retorno.	62



Figura 31. Análisis de la Distribución de Probabilidad mediante la línea de Tendencia Lineal. .	64
Figura 32. Análisis de la Distribución de Probabilidad mediante la línea de Tendencia Logarítmica. .....	65
Figura 33. Curvas IDF generados con el Método de Grunsky. ....	71
Figura 34. Curvas IDF generados con el Método de Elías y Ruiz. ....	73
Figura 35. Ecuaciones de Intensidades Máximas del INAMHI de la Estación: Gualaceo M139..	75
Figura 36. Curvas IDF generados con las Ecuaciones del INAMHI. ....	76
Figura 37. Hietograma de Diseño Periodo de Retorno 50 años.....	78
Figura 38. Hietograma de Diseño Periodo de Retorno 25 años.....	78
Figura 39. Hietograma de Diseño Periodo de Retorno 10 años.....	78
Figura 40. Hietograma de Diseño Periodo de Retorno 5 años.....	78
Figura 41. Hietograma de Diseño Periodo de Retorno 100 años.....	78
Figura 42. Componentes ingresados en HEC-HMS de las Cuencas hidrográficas de Gualaceo..	81
Figura 43. Cuenca Huayrapata ingresada en HEC-HMS. ....	82
Figura 44. Caudales de la quebrada Huayrapata para diferentes periodos de retorno. ....	83
Figura 45. Cuenca Ishcay ingresada en HEC-HMS. ....	84
Figura 46. Caudales de la quebrada Ishcay para diferentes periodos de retorno. ....	85
Figura 47. Cuenca Picay ingresada en HEC-HMS.....	86
Figura 48. Caudales de la quebrada Picay para diferentes periodos de retorno.....	87

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos climatológicos período 1998 - 2013, de la estación Gualaceo.....	3
Tabla 2. Coordenadas UTM de la Ubicación de los puntos de estudio donde se generarán los caudales.....	4
Tabla 3. Estaciones Meteorológicas cerca de la zona de estudio. ....	9
Tabla 4. Forma de la cuenca de acuerdo al factor de Horton .....	15
Tabla 5. Índices Fisiográficos de la Cuenca de aportación de la Quebrada Huayrapata. ....	20
Tabla 6. Índices Fisiográficos de la Cuenca de aportación de la Quebrada Ishcay. ....	23
Tabla 7. Índices Fisiográficos de la Cuenca de aportación de la Quebrada Picay. ....	26
Tabla 8. Clasificación de la Geomorfología de las cuencas hidrográficas. ....	35
Tabla 9. Clasificación de los tipos de suelos de las cuencas hidrográficas.....	35
Tabla 10. Clasificación de la Geología de las cuencas hidrográficas. ....	35
Tabla 11. Descripción del Uso del Suelo de acuerdo a (Ven Te Chow, 1994. pag:154) .....	39
Tabla 12. Clasificación de los Usos de la Tierra de la quebrada Huayrapata.....	43
Tabla 13. Clasificación de los Usos de la Tierra de la quebrada Ishcay.....	44
Tabla 14. Clasificación de los Usos de la Tierra de la quebrada Picay. ....	45
Tabla 15. Números de Curva de la Cuenca de la quebrada Huayrapata para diferentes Condiciones de Humedad. ....	46
Tabla 16. Números de Curva de la Cuenca de la quebrada Ishcay para diferentes Condiciones de Humedad.....	46
Tabla 17. Números de Curva de la Cuenca de la quebrada Picay para diferentes Condiciones de Humedad.....	46
Tabla 18. Resultados del Método del Coeficiente R2 de la Auto correlación de precipitación..	50
Tabla 19. Resultados del Método RMSE de la Auto correlación de precipitación.....	51
Tabla 20. Resultados del Método MAPE de la Auto correlación de precipitación. ....	51
Tabla 21. Método empleado para el resultado de la auto correlación de precipitaciones máximas de 24 horas.....	53



Tabla 22. Datos completados de los años incompletos de la Estación Meteorológica M139....	54
Tabla 23. Ajuste de los valores de lluvia de acuerdo a las unidades de observación. ....	56
Tabla 24. Mayorización de la precipitación Máxima de 24 Horas Anuales.....	56
Tabla 25. Periodo de Retorno a utilizarse en el análisis probabilístico hidrológico de las cuencas hidrográficas.....	58
Tabla 26. Resultado de los Métodos Probabilísticos de Distribución de la precipitación. ....	62
Tabla 27. Resultado de los Análisis de Distribución de Probabilidad mediante el Método de R cuadrado. ....	65
Tabla 28. Tablas de Resultado del Error Cuadrático Mínimo - Ecuación Lineal.....	66
Tabla 29. Tablas de Resultado del Error Cuadrático Mínimo - Ecuación Logarítmica. ....	67
Tabla 30. Análisis Probabilísticos de Distribución de la precipitación – Método seleccionado de Gumbel.....	70
Tabla 31. Resultados de las Curvas IDF - Método Grunsky.....	71
Tabla 32. Resultados de las Curvas IDF - Método Elías y Ruiz.....	72
Tabla 33. Ecuaciones para generación de Curvas IDF propuestos por el INAMHI.....	74
Tabla 34. Resultados de las Curvas IDF - Método Ecuaciones del INAMHI.....	75
Tabla 35. Análisis de Resultados de las Curvas IDF. ....	76
Tabla 36. Ejemplo del Método de Bloque Alterno para generar Hietogramas – Periodo de retorno de 5 años. ....	77
Tabla 37. Resultado de la Abstracción de la Cuenca de la Quebrada Huayrapata. ....	79
Tabla 38. Resultado de la Abstracción de la Cuenca de la Quebrada Ishcay. ....	79
Tabla 39. Resultado de la Abstracción de la Cuenca de la Quebrada Picay.....	79
Tabla 40. Caudales de la quebrada Huayrapata al ingreso al área urbana.....	83
Tabla 41. Caudales de la quebrada Ishcay al ingreso al área urbana.....	85
Tabla 42. Caudales de la quebrada Picay al ingreso al área urbana. ....	87
Tabla 43. Resumen de Caudales generados en las cuencas de aportación de las quebradas de la ciudad de Gualaceo.....	90



## Resumen

La presente investigación consiste en la evaluación hidrológica de las cuencas de aportación de las quebradas Huayrapata, Ishcay y Picay que atraviesan la ciudad de Gualaceo, mediante información como, registros pluviométricos en la zona de estudio y así como la topografía, cobertura vegetal, usos de suelo y tipos de suelo en las cuencas de aportación y otra información complementaria para dicho objetivo.

Con un análisis hidrológico estadístico en las cuencas hidrográficas mencionadas se ha determinado las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) a partir del registro pluviométrico de la Estación M139 Gualaceo, luego se ha determinado el Hietograma de Diseño para finalmente calcular el caudal de flujo procedente de un sistema de precipitación – escorrentía generado en las cuencas de aportación.

El cálculo del caudal procedente de la cuenca de aportación de cada quebrada se realizará en el software HEC-HMS que utiliza el método de la SCS (Soil Conservation Service), con la información procesada de cada cuenca hidrográfica como los índices fisiográficos, el número de curva (CN) y el hidrograma de diseño para diferentes periodos de retorno; A través del modelo hidrológico de precipitación – escorrentía se calculará el flujo directo generado en las cuencas hidrográficas de aportación.

El hidrograma de caudales calculado para cada cuenca hidrográfica de las quebradas se ubica en los puntos de ingresos al área urbana, estos servirán para estudios secundarios como zonas de inundación de las quebradas analizadas.

Palabras Clave: Evaluación Hidrológica, Quebradas, Precipitación, Cuencas, Caudales.

## Abstract

This research involves the hydrological evaluation of basins contribution of Huayrapata, Ishcay and Picay streams that run through the city of Gualaceo, using information such as rainfall records in the study area and as well as topography, vegetation cover, uses soil and soil types in the basins input and additional information for such purpose.

With a statistical hydrological analysis in watersheds above has been determined curves Intensity Duration and frequency (IDF) from rainfall record of the M139 Gualaceo station, then has determined Hyetograph Design to finally calculate the flow rate from a system of precipitation - runoff generated in the basins input.

The calculation of the flow from the catchment basin each creek will be held at the HEC- HMS software using the method of the SCS (Soil Conservation Service), with information processed for each river basin as physiographic indices, the curve number (CN) and the hydrograph design for different return periods; Through the hydrological model of rainfall - runoff flow was calculated directly created in the catchment areas of input.

The hydrograph flow calculated for each river basin in the gorges is located at points of income in urban areas, these serve to secondary school as flood plains of the analyzed streams.

Keywords: Hydrologic Evaluation Quebradas, Precipitation, Basins, Flows, Gualaceo.



## 1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

### 1.1. NOMBRE DEL PROYECTO

La **EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE GUALACEO** consiste en determinar la hidrología de las cuencas que aportan a las tres quebradas principales a la entrada del área urbana. Las tres quebradas mencionadas hacen referencia a la Huayrapata, Ishcay y Picay, de norte a sur respectivamente.

### 1.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

#### 1.2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA Y SUPERFICIE

El estudio propuesto se encuentra en la zona rural de la ciudad de Gualaceo localizado geográficamente en coordenada media UTM WGS 84 zona 17 sur: 745054 S 9680456 N<sup>1</sup>, al oeste de la ciudad.

La ciudad de Gualaceo, cabecera cantonal urbana del cantón con el mismo nombre, de la provincia del Azuay, jurisdicción del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Gualaceo.

La cabecera Cantonal limita al norte con el Cantón Paute, al sur con la parroquia San Juan y el Cantón Chordeleg, al este con las parroquias Mariano Moreno, Daniel Córdova, Luis Cordero Vega y Remigio Crespo Toral, y al oeste con la parroquia de Jadan.

La zona urbana de Gualaceo tiene una superficie aproximada de 6.62 Km<sup>2</sup> y la zona rural de Gualaceo tiene una superficie de 39.37 Km<sup>2</sup>. (GAD Municipal de Gualaceo, 2014)

#### 1.2.2. INDICES DEMOGRAFICOS

En el cantón Gualaceo en la zona urbana, según el censo del 2011, son 13.981 habitantes y en la zona rural habitan 7.462 habitantes. (GAD Municipal de Gualaceo, 2014)

Para la densidad poblacional es necesario determinar la extensión territorial de la cabecera cantonal, en éste sentido es pertinente informar que existen variaciones respecto al área total del cantón y sus parroquias, de acuerdo a la información del GAD Cantonal de Gualaceo y al Plan de Desarrollo Territorial se ha descrito los siguientes índices de densidad poblacional, zona urbana 2111.93 Hab/km<sup>2</sup> y en la zona rural una densidad de 189.54 hab/km<sup>2</sup>. (GAD Municipal de Gualaceo, 2014)

#### 1.2.3. ACTIVIDAD ECONOMICA

El cantón Gualaceo se ha caracterizado y se caracteriza por tener una población con actividades en las ramas de agricultura, calzado, ebanistería, orfebrería, textiles y gastronomía. El turismo que tomó fuerza en este territorio en los años noventa están basadas en varios de sus atractivos culturales y naturales lo que ha permitido que sus pobladores emprendan o fortalezcan sus micro, pequeñas y medianas empresas en este sector, sobresaliendo así los restaurantes, puestos de comida, y hoteles.

La tasa de actividad demuestra que la Población Ocupada de la Población Potencialmente Activa o en edad de trabajar (entre 16 y 64 años de edad) en la Cabecera Urbana tiene una tasa

---

<sup>1</sup> Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator usado en el Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS) huso 17 en la zona sur del meridiano.



de actividad de 72.24% y en la Cabecera Rural una tasa de 73.75%, estos datos de acuerdo al INEC 2010. (GAD Municipal de Gualaceo, 2014)

#### 1.2.4. CONSTRUCCIONES IMPORTANTES

Principalmente en la ciudad de Gualaceo existen 21 Instituciones Educativas y en la zona cantonal rural existen 12 instituciones educativas, de acuerdo a la secretaria de Educación del Azuay 2010.

En la cabecera cantonal urbana además existe otras construcciones importantes se describen las más importantes: Hospital Moreno Vásquez, Iglesia Matriz Gualaceo, Iglesia Divina Misericordia, Casa Municipal, Parque Central, Mercado Guayaquil.

### 1.3. INTRODUCCION

El crecimiento urbano en la ciudad de Gualaceo a producido el emplazamiento humano crezca hasta las fuentes de algunas quebradas como es el ejemplo de la quebrada Huayrapata, de esta forma los márgenes que protegen a las quebradas se han reducido constantemente y el caudal que circula por los cauces de las quebradas no disminuyen.

La evaluación hidrológica de las cuencas de aportación a las quebradas proporcionara los datos necesarios para un análisis hidráulico de crecidas e inundaciones de las quebradas de la ciudad de Gualaceo.

Además, servirá como base para estudios hidráulicos en la zona como: Sistemas de Agua de Riego, Sistema de Alcantarillado Pluvial, etc.

### 1.4. ANTECEDENTES

Con la finalidad de aportar con los parámetros necesarios para una evaluación hidráulica de las quebradas de la ciudad de Gualaceo, debido a inundaciones constante en épocas de lluvia, se ha desarrollado el estudio de la Evaluación Hidrológica de las cuencas de las quebradas de la ciudad de Gualaceo.

Para esto se ha enriquecido en temas de hidrología, estadística, suelos y el aprendizaje de software como: ArcGIS, HEC-HMS.

De esta forma se pretende desarrollar dicha evaluación para la obtención del título de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca.



## 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO Y DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 2.1. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVO ESPECIFICO

#### 2.1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación hidrológica de las cuencas hídricas de aportación a la ciudad de Gualaceo y aportar con los datos necesarios para el estudio Hidráulico y niveles de inundación de las quebradas dentro del perímetro urbano.

#### 2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los componentes necesarios para la Evaluación de las cuencas de las quebradas son:

- Estado actual de las cuencas hidrográficas de aporte de las quebradas.
- Delimitación de las cuencas de aporte a las quebradas, a la entrada del área urbana.
- Determinación de los parámetros Fisiográficos de las quebradas.
- Determinación de la cobertura vegetal del suelo de las cuencas de aportación de las quebradas.
- Determinación del tipo de suelo de las cuencas de aportación de las quebradas.
- Determinación los usos del suelo de las cuencas de aportación de las quebradas.
- Determinación del Numero de Curva para las diferentes cuencas de aportación.
- Determinación de precipitaciones máximas para periodos de retorno específicos.
- Determinación de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia.
- Determinación del Hietograma de Diseño.
- Calculo de los caudales picos al ingreso a la ciudad de Gualaceo.

### 2.2. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 2.2.1. HISTORIA DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN DE LA CIUDAD DE GUALACEO

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD<sup>2</sup> Cantonal del Cantón Gualaceo en los atributos Biofísicos nos brinda la siguiente información:

*Tabla 1. Datos climatológicos período 1998 - 2013, de la estación Gualaceo.*

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: GAD Municipal de Gualaceo.

Unidad	ene	Feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Precipitación mm.</b>												
Suma	62.9	66.5	88.8	94.3	49.7	34.2	29.7	21.7	28.9	64.4	70.2	58.6
Máxima	22.5	23.1	20.1	25.2	13.9	11.0	9.5	7.3	7.3	19.3	21.6	20.0
<b>Temperatura ° C.</b>												
Media mensual	17.5	16.7	17.1	17.0	16.9	16.2	15.3	15.3	16.1	16.9	17.1	17.4
Máxima Absoluta	27.8	28.0	27.5	27.3	27.3	26.7	26.4	27.2	28.0	27.9	28.2	28.8
Mínima Absoluta	9.4	9.4	9.5	9.0	9.6	7.5	7.1	8.2	7.2	8.6	7.9	8.2
<b>Humedad relativa %</b>												
Media	78	80	80	83	82	81	79	78	77	75	76	79
Máxima	87	88	90	100	100	90	87	100	99	87	88	90
Mínima	40	46	41	54	57	47	36	45	44	36	36	41
<b>Punto de rocío ° C</b>												
Horas luz %	13.5	13.4	13.6	14.7	14.4	13.2	12.3	12.2	12.5	12.8	13.0	14.1
	8.6	7.7	8.5	8.2	8.4	8.1	8.4	8.4	8.2	8.5	8.3	8.6

<sup>2</sup> GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado



- Precipitación máxima diaria = 25.2 mm en el mes de abril
- Precipitación media máxima anual = 18.46 mm
- Precipitación suma mensual = 94.3 mm en el mes de abril

Existen dos épocas marcadas de precipitaciones: la primera en marzo – abril y la segunda en menor escala en noviembre – diciembre; Los meses secos son en: abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre. Este comportamiento se produce ya que existe una fuerte influencia climática de la zona oriental. (GAD Municipal de Gualaceo, 2014)

### 2.2.2. UBICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE ESTUDIO DONDE SE GENERARÁN LOS CAUDALES

La generación de caudales producto de la precipitación suscitada en las cuencas hidrográficas de las quebradas de Gualaceo se las realizará a la entrada del área urbano, debido a que las invasiones de los márgenes de las quebradas, tales como construcciones de viviendas, implementación de muros y otros elementos constructivos en los márgenes de las quebradas dentro del perímetro urbano, siendo competencia directa de control el GAD Municipal del Cantón Gualaceo.

La ubicación donde se generará los caudales producidos por la precipitación en las cuencas de las quebradas de Gualaceo se describen en la siguiente Tabla.

*Tabla 2. Coordenadas UTM de la Ubicación de los puntos de estudio donde se generarán los caudales.*

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Cuenca de la Quebrada	Ubicación en Coordenadas WGS 84 Zona 17 – Sur		Detalle de la ubicación
	Norte (m)	Este (m)	
<b>Huayrapata</b>	9680917.249	746203.305	A 240m aprox. al este de la intersección de las vías del Obrero y vía a Chicaguiña, en el cruce de la quebrada Huayrapata.
<b>Ishcay</b>	9680416.831	746122.645	A 200m aprox. al este de la intersección de la Circunvalación y la quebrada Ishcay.
<b>Picay</b>	9679611.130	745946.727	A 150m aprox. al este de la intersección de la vía a Quimshi – Nushuncay y la quebrada Picay.

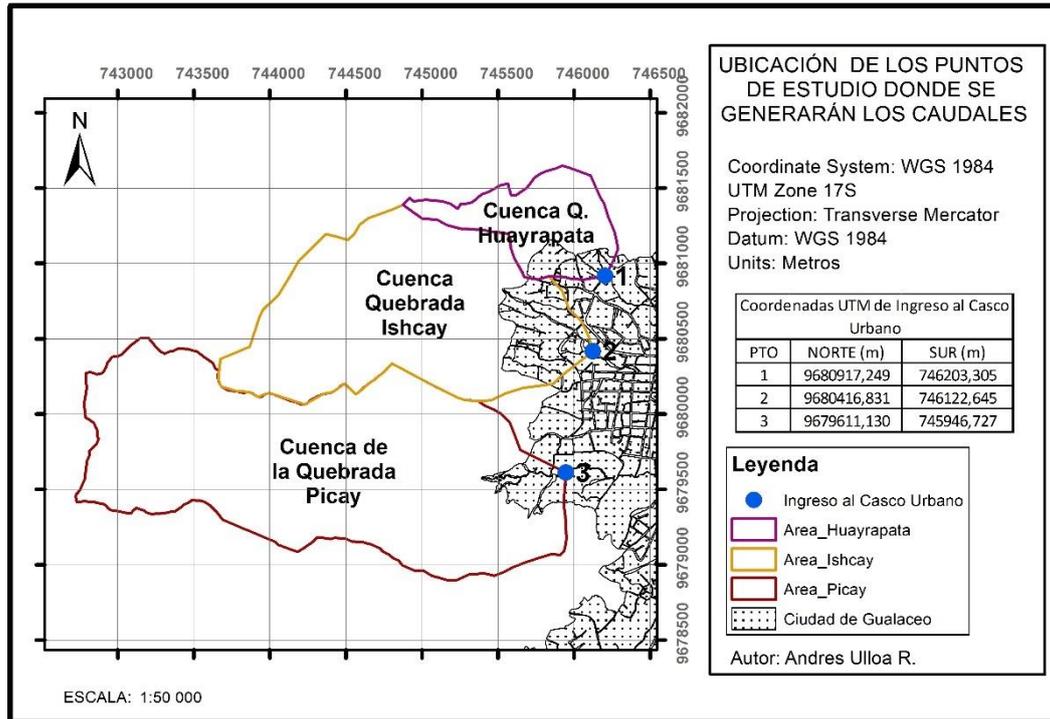


Figura 1. Ubicación de los puntos de Estudio donde se generarán los caudales, ingreso al área urbana de la ciudad de Gualaceo.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Como se pueden observar en la figura en los puntos 1, 2, 3 representan a las quebradas Huayrapata, Ishcay y Picay respectivamente. En estos puntos los cuales son los más bajos de las cuencas de aporte a las quebradas en donde se generará el caudal producido por las precipitaciones en las cuencas hidrográficas de aportación.



### 3. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DE LA CUENCA DE ESTUDIO

Con el objetivo de determinar el área de influencia de la unidad hidrográfica se ha adquirido la cartografía de la zona en estudio levantada por Instituto Geográfico Militar (IGM)

La información de la topografía, hidrografía, tipos de suelo, la ortofotografía y superficie TIN a escala 1:1000 y otros datos fueron proporcionados por el GAD Municipal del Cantón Gualaceo, por parte del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

Para la determinación de los Índices Fisiográficos se ha empleado una superficie TIN, las superficies TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Las aristas de los TIN forman facetas triangulares contiguas y no superpuestas que se pueden utilizar para capturar la posición de entidades lineales que juegan un papel importante en una superficie, como cadenas montañosas o arroyos. (ESRI, 2015)

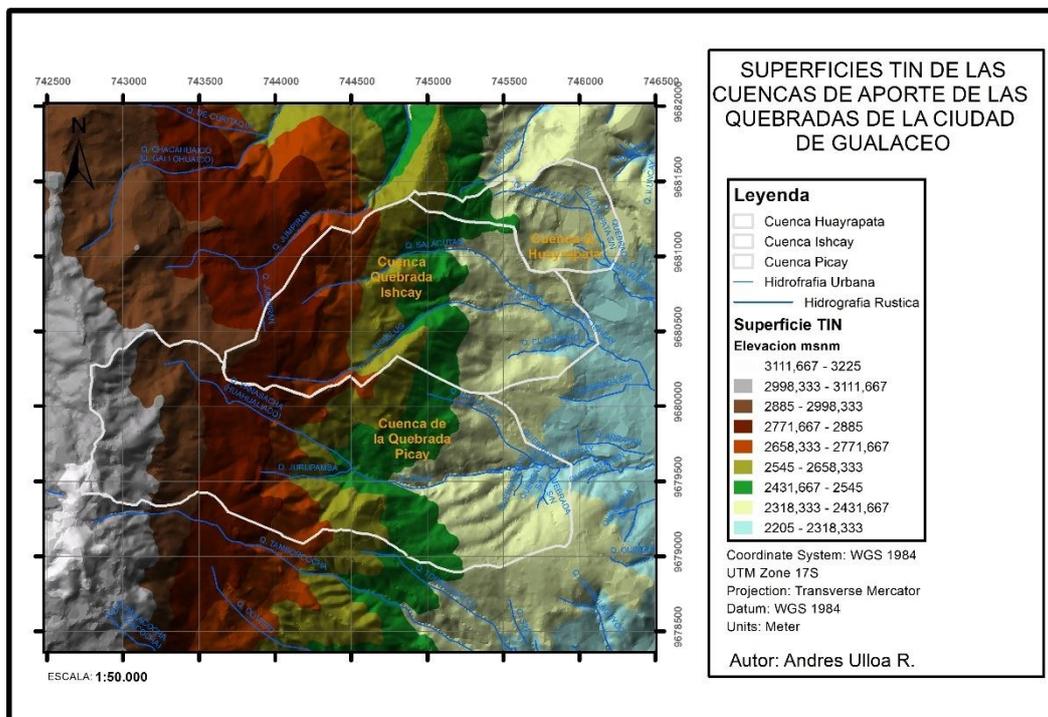


Figura 2. Datos en ArcGIS otorgados por el GAD Municipal de Gualaceo

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Como se puede observar en la Figura 2 con la superficie TIN se puede generar curvas de nivel y estos nos servirán para determinar perfiles longitudinales, pendientes, redes de drenaje y se podrá definir claramente la línea divisora de aguas para poder definir las cuencas hidrográficas.



### 3.2. UBICACIONES DE ESTACIONES DE MEDIDA DE PRECIPITACIONES

Las estaciones meteorológicas normalmente en nuestro País están emplazadas por entidades públicas, tales como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) o la Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca (ETAPA). Antes de revisar las ubicaciones se dan a conocer la medición de las precipitaciones.

#### 3.2.1. MEDICION DE LAS PRECIPITACIONES

La precipitación es el agua procedente de la atmósfera, y que en forma líquida o sólida se deposita sobre la superficie terrestre, 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, 1989)

El volumen total de las precipitaciones que llegan al suelo durante un período determinado se expresa en función del nivel que alcanzarían sobre una proyección horizontal de la superficie terrestre, una vez se hayan fundido todas las precipitaciones caídas en forma de nieve o hielo.

El objetivo principal de cualquier método de medición de las precipitaciones es obtener muestras representativas de la precipitación en la zona a que se refiera la medición.

##### 3.2.1.1. Instrumentos de Medición

Las unidades de medida de la precipitación son lineales. Las cantidades diarias de precipitación deben leerse con una precisión de 0,2 mm y de ser posible, con una precisión de 0.1 mm; las cantidades semanales o mensuales deben leerse con una precisión de 1 mm las medidas diarias de la precipitación deben efectuarse a horas determinadas. En nuestro país las lecturas diarias de la precipitación se lo realizan a las 07h00, aproximadamente debido a que se dispone de pluviómetros en las ciudades. Se puede considerar también la relación volumen superficie 1 mm de precipitación es igual a 1 Litro de agua en una superficie de 1 m<sup>2</sup>. (INAMHI, 2010)

##### • Pluviómetros

El pluviómetro es el instrumento más frecuente que se utiliza para medir la precipitación. Se utilizan varios tamaños y formas de la boca y la altura del pluviómetro según los países, la cantidad de precipitación captada de un pluviómetro se mide utilizando una regla graduada para determinar la profundidad, midiendo el volumen o pesando el contenido. (INAMHI, 2010)

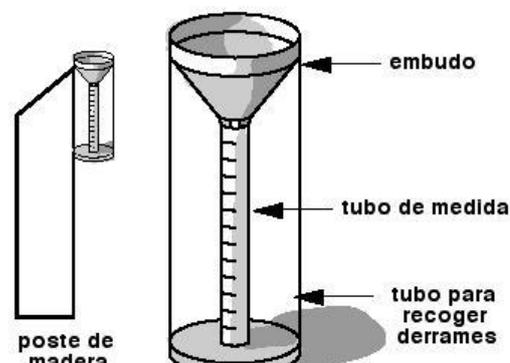


Figura 3. Componentes básicos de un Pluviómetro.

Fuente: [www.pluviometro.com](http://www.pluviometro.com)

Elaboración: [www.pluviometro.com](http://www.pluviometro.com)



• *Pluviógrafos*

Por lo general se utilizan tres tipos de pluviógrafos: el de peso, el de balanza o cangilón y el de sifón. Este tipo de instrumento nos permite registrar o grabar en forma continua la precipitación lo que nos permite calcular la intensidad.

○ **Pluviógrafo de Pesa**

En estos instrumentos, el peso de un recipiente junto con la precipitación acumulada en él se registra continuamente, bien por medio de un mecanismo dotado de un muelle o con otro sistema de balanza de pesas.

Se va registrando toda la precipitación a medida que esta cae. Este pluviógrafo no tiene un mecanismo que le permita vaciarse por sí mismo, pero existe un sistema de palancas que permite que la pluma recorra la banda las veces que sea necesario. Este tipo de Pluviógrafos están diseñados para evitar al mínimo las pérdidas por evaporación. (INAMHI, 2010)

○ **Pluviógrafo de Cangilón**

Su principio de funcionamiento es muy sencillo, un ligero recipiente está dividido en dos compartimentos y se halla en equilibrio inestable con respecto al eje horizontal. En su posición normal, el recipiente se apoya en uno de topes que le impiden inclinarse completamente. El tubo conectado al embudo colector de la precipitación se encuentra instalado por arriba del cangilón basculante que mientras está vacío tiene dos posiciones estables, con ambas mitades del depósito cayendo justo por debajo del orificio de salida del embudo. Debido a que el centro de gravedad de la mitad llena del depósito cae fuera del punto de apoyo, el depósito se vuelca tan pronto como se haya cargado con una cantidad determinada de agua de precipitación, vertiendo el agua recogida y exponiendo la otra mitad del vacío al orificio del embudo. Tan pronto como la mitad se llena, se vuelca el otro lado. En cada movimiento de volcado, un relé de láminas accionado por un imán permanece conmutando un circuito eléctrico, produciendo un impulso eléctrico, este mismo sistema se lo construye también con cápsula de vidrio con mercurio el que realiza la misma función del imán. (INAMHI, 2010)

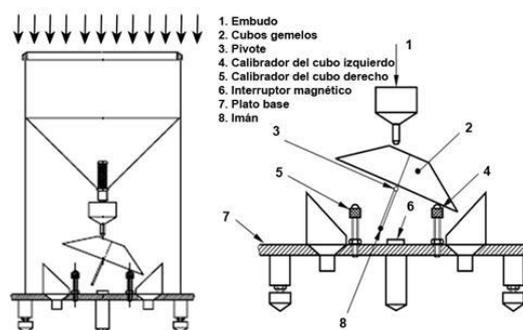


Figura 4. *Pluviógrafo de Cangilón.*

Fuente: [www.pluviometro.com](http://www.pluviometro.com)

Elaboración: [www.pluviometro.com](http://www.pluviometro.com)

○ **Pluviógrafo de Sifón**



Este tipo de pluviógrafo se lo conoce también como de flotador, la lluvia pasa a un recipiente que es en realidad la cámara donde se desliza un ligero flotador, el movimiento vertical de éste se transmite mediante un mecanismo conectado al movimiento de la pluma de registro que se desliza sobre la faja o banda.

Ajustando adecuadamente las dimensiones de la boca del colector, el flotador y la cámara del flotador, se puede utilizar cualquier escala para la banda de registro. (INAMHI, 2010)

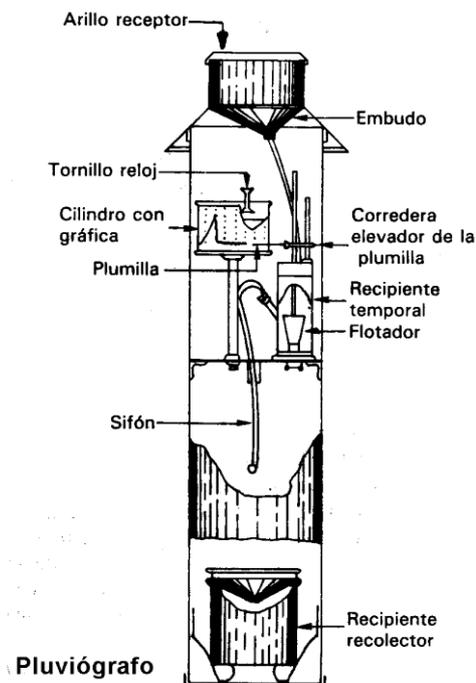


Figura 5. Pluviógrafo de Sifón.

Fuente: [www.pluviometro.com](http://www.pluviometro.com)

Elaboración: [www.pluviometro.com](http://www.pluviometro.com)

### 3.2.1.2. Estaciones Meteorológicas

Teniendo en cuenta las formas de medición de la precipitación por parte de instituciones públicas como la del INAMHI y ETAPA cabe describir las estaciones Meteorológicas ubicadas en la zona de estudio de la Quebrada Huayrapata.

Tabla 3. Estaciones Meteorológicas cerca de la zona de estudio.

Fuente: Inamhi, Etapa.

Elaboración: Autor.

Nombre de las Estaciones	Institución Pública Encargada	Ubicación de las Estaciones	Coordenadas de las Estaciones			Tipo de Estación Meteorológica
			Norte UTM WGS 84 Z 17s	Este UTM WGS 84 Z 17s	Elevación msnm	
<b>Gualaceo M139</b>	INAMHI	Colegio Miguel Malo Gonzales - Gualaceo	9679416.97	746702.72	2230	Climatológica Principal



<b>Paute M138</b>	INAMHI	Paute	9690276.10	748714.93	2289	Climatológica Principal
<b>Ricaurte M0426</b>	INAMHI	Ricaurte Cuenca	9684693.07	728037.54	2545	Pluviométrica
<b>Punguhuayco Chordeleg</b>	ETAPA	Chordeleg – Punguhuayco	9676255.87	747966.24	2451	Pluviografica - Limnigrafica
<b>Gualaceo D.J. Pamar</b>	ETAPA	Pamar	9668469.03	743850.74	2311	Pluviografica - Limnigrafica

### 3.3. RECOLECCION Y VALIDACION DE INFORMACION DE PRECIPITACIONES

La recolección de la información se realizó inicialmente procesando los datos de los Anuario Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del Ecuador los cuales se pueden encontrar en la página web del INAMHI ([www.inamhi.gob.ec](http://www.inamhi.gob.ec)) o directamente en (<http://186.42.174.231/index.php/clima/anuarios-meteorologicos>) (ultimo ingreso 05/11/2015). Donde se procedió a filtrar las lluvias máximas en 24 horas, de cada mes.

Y las estaciones de ETAPA se procedieron a solicitar a la Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca – Ecuador, al Biólogo Manuel Morales, Subgerente de Gestión Ambiental, mediante oficio el 22 de octubre de 2014. (Revisar [Anexo 1. Documentos](#))

Luego de una recolección primaria se procedió a determinar la influencia de las Estaciones Meteorológicas antes descritas en la Cuenca de la Quebrada Huayrapata.

#### 3.3.1. Polígonos de Thiessen – Influencia de las Estaciones Meteorológicas.

El método de Thiessen trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. Las estaciones se colocan en un mapa y se dibujan líneas que las conecten unas con otras. Las mediatrices, o perpendiculares bisectrices de estas líneas, forman polígonos alrededor de cada estación. Los lados de cada polígono es el área de influencia que se considera para cada estación. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1977)

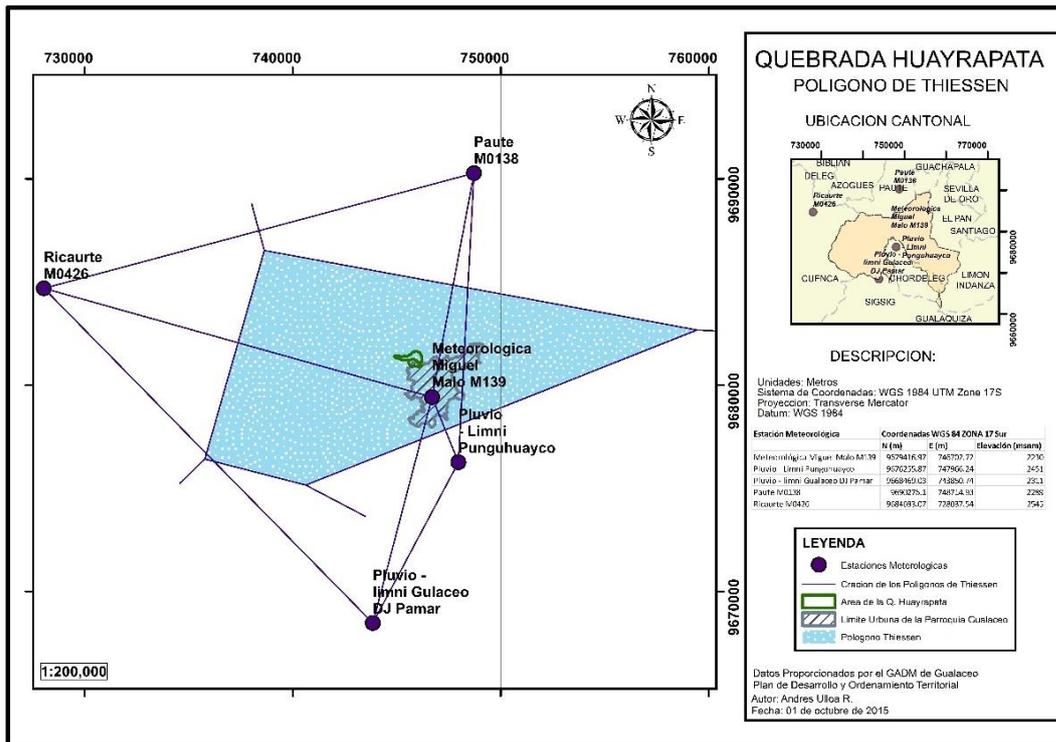


Figura 6. Determinación de los Polígonos de Thiessen de las Estaciones Meteorológicas cercanas a la ciudad de Gualaceo.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo, Autor.

Elaboración: Autor.

En la imagen se puede apreciar que el área de influencia (color celeste) de la Estación Meteorológica M139 del INAMHI, influye sobre el área de las cuencas de aportación de las quebradas de la ciudad de Gualaceo. Por esta razón la estación que se acudirá a procesar es la antes mencionada.

### 3.3.2. Estación Meteorológica Gualaceo-M139

Para la revisión de la estacione meteorológica en los Anuarios Meteorológicos el INAMHI nos proporciona información para la correcta revisión de ellos.

El código de la estación está formado actualmente por cinco caracteres, siendo el primero una letra que identifica a la red de estaciones que, para el caso es la letra M., los otros cuatro caracteres son números que representan un identificador de la estación dentro de la red. Este código es único, de modo que cuando una estación ha dejado de funcionar o ha sido levantada, se lo mantiene por cuanto identifica la información que se generó en esa estación. (SIGIHM, 2013)



### 3.3.2.1. DATOS GENERALES DE LA ESTACION

**Código de la Estación:** M139

**Nombre de la Estación:** GUALACEO

**Código de tipo de estación:** CP (Climatológica Principal)

**Código de la cuenca hidrográfica:** 280 (Santiago)

**Ubicación geográfica: latitud, longitud y altitud:** 2°52'55" S – 78°46'35" W

**Código de la provincia.** 1 (Azuay)

**Institución propietaria:** INAMHI

**Fecha de iniciación de las observaciones:** 1964

El Anuario contiene un resumen estadístico anual de las observaciones y mediciones de los parámetros meteorológicos generados por la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas que han sido procesados y validados por el INAMHI. (SIGIHM, 2013)

### 3.3.2.2. ESTADISTICA MENSUAL Y ANUAL DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

Por cada una de las estaciones climatológicas de las cuales se ha recopilado información se presenta una estadística mensual y anual, cuya información procesada es agrupada y clasificada de acuerdo al siguiente detalle:

Precipitación (mm)

- Suma Mensual
- Suma Anual
- Máxima en 24 horas y fecha producida (mes)
- Número de días con precipitación.

El usuario del Anuario Meteorológico debe tomar en cuenta las siguientes observaciones que se citan a continuación:

- El espacio en blanco indica carencia del dato o inexistencia del instrumental en esa estación o bien, insuficiencia de datos para los cálculos estadísticos.
- Se publican únicamente los datos de las estaciones que cuentan con al menos seis meses de información en el año.
- El INAMHI posee información específica, tanto observada y registrada como procesada de todos los datos que se generan en la red de estaciones de su propiedad, así como de otras Instituciones, la misma que no ha sido publicada en el presente Anuario y que puede ser facilitada a los usuarios de acuerdo a sus requerimientos.

### 3.3.2.3. PROCESAMIENTOS DE DATOS DE LA ESTACION M139

Los datos de la Estación M139 fue otorgada por la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), estos datos lo damos por validos debido a la fuente, los datos otorgados por la SNAGUA fueron procesados como se describe:



- Datos Iniciales: Precipitación máxima diaria desde el 01/01/1964 hasta 30/05/2013.
- Proceso 1: Determinación de la precipitación máxima diaria mensual, el día en el cual se produjo la precipitación y los números de días con lluvia.
- Proceso 2: Determinación de datos incompletos de la precipitación en un mes específico de un determinado año.
- Proceso 3: Completar los datos incompletos, Análisis de resultados, prueba de los datos completados, tabla final de la precipitación máxima de 24 horas anuales.
- Proceso 4: Análisis probabilísticos para diferentes periodos de retorno
- Proceso 5: Análisis de duración de precipitaciones para diferentes periodos de retorno o las llamadas curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)
- Proceso 6: Generación de Caudales a través del método de la SCS (Soil Conservation Service).

Estos procesos se describirán en los capítulos siguientes, así hubiera modificaciones se indicarán en los procesos descritos.



### 3.4. ESTUDIO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA

#### 3.4.1. INDICES FISIOGRAFICOS

La fisiografía es la descripción de las características físicas de a Tierra y de los fenómenos de la naturaleza que en ella se originan, en particular de las características aparentes, distinguidas de la superficie terrestre y la vegetación. Los índices fisiográficos sirven para caracterizar a la cuenca mediante parámetros fisiográficos de la cuenca en estudio. (Instituto Nacional de Biodiversidad, 2015)

Dichas características se clasifican en dos tipos, según la manera en que controlan los fenómenos mencionados: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corrientes, pendiente de la cuenca y los cauces, etc. (Aparicio, 1989)

A continuación, se describe las características de las cuencas que alimenta a las quebradas de la ciudad de Gualaceo, Huayrapata, Ishcay y Picay.

##### *i. Delimitación de una cuenca*

La delimitación de la cuenca se la hace en su divisora parte aguas la cual es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas. (Aparicio, 1989). La delimitación de la cuenca se realizó mediante el Modelo TIN generado en ArcGis<sup>3</sup>; Las Superficies TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Las aristas de los TIN forman facetas triangulares contiguas y no superpuestas que se pueden utilizar para capturar la posición de entidades lineales que juegan un papel importante en una superficie, como cadenas montañosas o arroyos. (ESRI, 2015)

##### *ii. Área de la cuenca*

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas. (Aparicio, 1989); Se le representara con la letra "A".

##### *iii. Parámetros de forma de la cuenca*

La forma de la cuenca incide en el tiempo de recorrido de las aguas a través de la red de drenaje, de esta forma se puede conocer el hidrograma de caudales producido por una tormenta.

#### *Factor de forma de Horton*

El factor de forma de Horton nos determina la forma de esta según el valor de este factor el cual lo representaremos con las letras "Kf", en donde es la relación entre el Área de la cuenca y la longitud de la cuenca.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

---

<sup>3</sup> ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG.



Dónde:  $A$  = Área de la Cuenca ( $\text{km}^2$ )

$L$  = Longitud del cauce mayor (km)

Los valores de  $K_f$  determinaran la forma de la cuenca la cual se podrá comparar con los siguientes valores: Tabla tomada de (Ordoñez Gálvez, 2011)

Tabla 4. Forma de la cuenca de acuerdo al factor de Horton

Fuente: (Ordoñez Gálvez, 2011)

Elaboración: Autor.

Valores de $K_f$ Aproximados	Forma de la Cuenca
Menor a 0.22	Muy Alargada
0.22 – 0.3	Alargada
0.3 – 0.37	Ligeramente Alargada
0.37 – 0.45	Cuadrada
0.45 – 0.6	Ligeramente Ensanchada
0.6 – 0.8	Ensanchada
0.8 – 1.2	Muy Ensanchada
Mayor a 1.2	Rodeando el Desagüe

#### Perímetro de la Cuenca

Es la longitud del contorno del área de la cuenca. Es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. (Ordoñez Gálvez, 2011); Se le representara con la letra “P”.

#### Longitud de la Cuenca

Es la longitud mayor de las corrientes de agua de la cuenca, esta se mide desde la parte alta de la cuenca hasta donde se drena el afluente. Se le representara con la letra “L”.

#### Índice de compacidad

También denominado coeficiente de compacidad o de Graveliús, definida como la relación entre el perímetro de la cuenca “P” y el perímetro de un círculo de área “A” de la cuenca hidrográfica, se le representara a este índice con las letras “Kc”

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Dónde:  $P$  = Perímetro de la Cuenca (km)

$A$  = Área de la Cuenca ( $\text{km}^2$ )

$Kc$  = Tiende a 1, la forma de la cuenca es ensanchada

Varia de 1, la forma de la cuenca es alargada

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores, dada su simetría.



Sin embargo, este índice de forma ha sido criticado pues las cuencas en general tienden a tener la forma de pera. (Ordoñez Gálvez, 2011)

#### iv. *Parámetros de Relieve*

Los parámetros que se determinaran son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; con carácter general podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores. (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, Morfología de una Cuenca, 2013).

Los principales parámetros se describen a continuación:

#### *Histograma de frecuencias de altitudes*

Es la representación de la superficie, en km<sup>2</sup> o en porcentaje, comprendida entre dos cotas, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. La representación de varias cotas da lugar al histograma. (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, Morfología de una Cuenca, 2013). De esta forma se podrá obtener más fácilmente la curva hipsométrica.

#### *Curva hipsométrica*

Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en km<sup>2</sup> o en Ha, que existe por encima de una cota determinada. Puede hallarse con la información extraída del histograma de frecuencias de altitudes. (Ordoñez Gálvez, 2011).

De esta curva hipsométrica y el histograma de altitudes se puede obtener los siguientes parámetros:

- *Altura Media o Elevación Media de la cuenca:* Es la relación entre la sumatoria de las áreas entre contornos divididos multiplicado por la elevación media de esos contornos, sobre el área total de la cuenca "A".
- *Altura más Frecuente:* Es la altura correspondiente al máximo histograma de frecuencias altimétricas.

#### *Rectángulo Equivalente*

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, en la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (igualmente mismo Índice de Compacidad "Kc"). En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curvas de nivel.

Los lados del rectángulo equivalente se determinan a través de fórmulas empíricas, una de las más utilizadas es la que se presenta a continuación:

$$L = \frac{Kc}{1.12} \times \sqrt{A} \times \left[ 1 + \sqrt{1 - \left[ \frac{1.12}{Kc} \right]^2} \right]$$



$$l = \frac{Kc}{1.12} \times \sqrt{A} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \left[ \frac{1.12}{Kc} \right]^2} \right]$$

Dónde: L= Longitud del lado mayor del rectángulo.

L= Longitud del lado menor del rectángulo

A= Área de la Cuenca (km<sup>2</sup>)

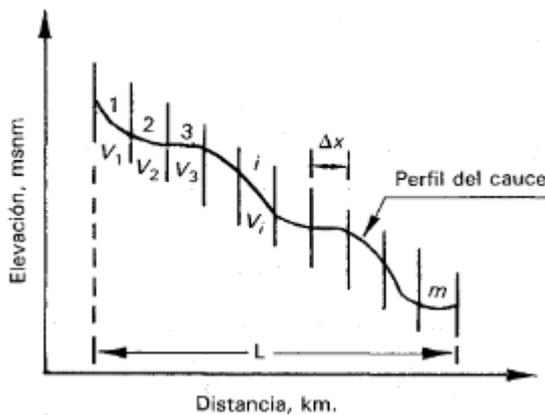
*Pendiente de la cuenca*

Es un parámetro de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca. Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el siguiente, se obtiene dividiendo la diferencia total de la altitud mayor del cauce (HM-metros) y la altitud menor del cauce (Hm-metros) entre la longitud horizontal (L-km) del curso de agua entre esos dos puntos. (Ordoñez Gálvez, 2011)

*Pendiente Media de la cuenca*

Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión. (Aparicio, 1989)

Criterio de Taylor y Schwarz



$$S = \left[ \frac{L}{\sum_{i=1}^m \frac{l_i}{\sqrt{s_i}}} \right]^2$$



### Tiempo de Concentración de la cuenca hidrográfica

El tiempo de concentración es una de las variables más importantes a determinar en la planificación de usos del suelo y en la conservación de suelos y aguas o gestión de recursos hídricos. Si nuestro objetivo es la determinación del hietograma unitario es necesario conocer el valor de  $T_c$ .

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo que máximo; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida de la cuenca. (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, Morfología de una Cuenca, 2013)

Para el cálculo del tiempo de concentración se empleará las siguientes formulaciones:

- Kirpich

$$T_c = 0.06626 \times \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385}$$

- Temez

$$T_c = 0.126 \times \left(\frac{L}{S^2}\right)^{0.75}$$

- Pasini

$$T_c = 0.023 \times \left(A \times \frac{L}{S}\right)^{0.50}$$

- Pizarro

$$T_c = 13.584 \times \left(\frac{L^2}{H}\right)^{0.77}$$

Dónde:  $T_c$ = tiempo de concentración en horas  
 $L$ = Longitud del cauce principal en Kilómetros (Km)  
 $S$ = pendiente de la cuenca hidrográfica  
 $A$ = área de la cuenca en  $\text{km}^2$   
 $H$ = diferencia de las cotas máximas y mínimas

Para la generación de caudales máximos será necesario la utilización del tiempo de concentración ( $T_c$ ) adecuado, debido que si se selecciona erróneamente puede producirse valores de escorrentía no reales, para la correcta selección se realizará un promedio de los valores que estén en un rango medio de los valores de  $T_c$  calculados.



v. *Resultados*

Cuenca de la Quebrada Huayrapata

La cuenca de aportación a la quebrada Huayrapata es una cuenca exorreica, y la corriente de la cuenca es tributaria al río Santa Bárbara. Como lo demuestra la figura.

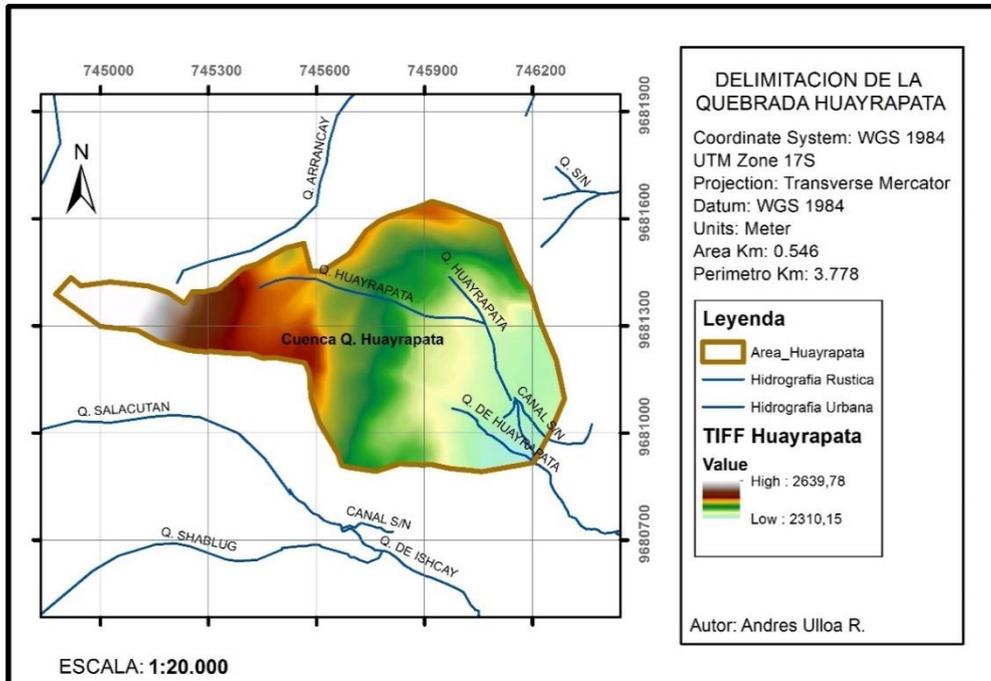


Figura 7. Delimitación de la Quebrada Huayrapata

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Los índices fisiográficos se detallan en las siguientes descripciones:

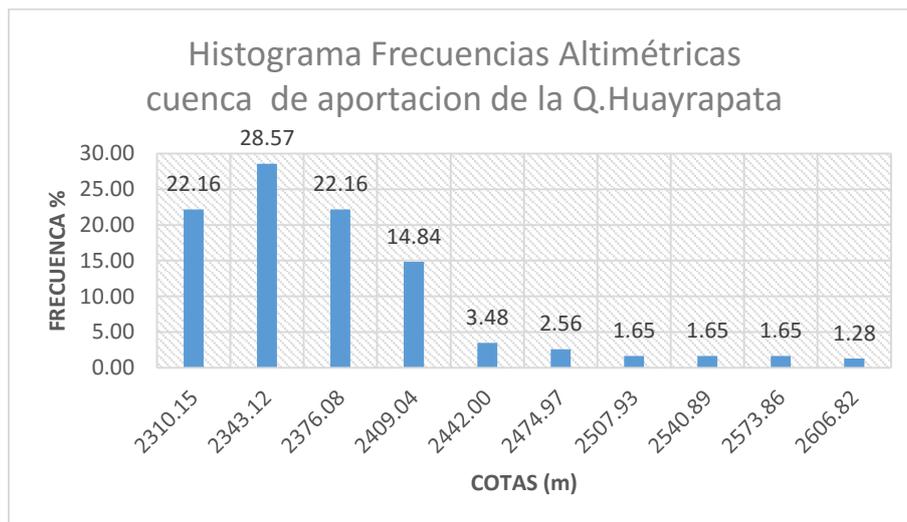


Figura 8. Histograma de Frecuencias Altimétricas de la cuenca de aportación de la Q. Huayrapata.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

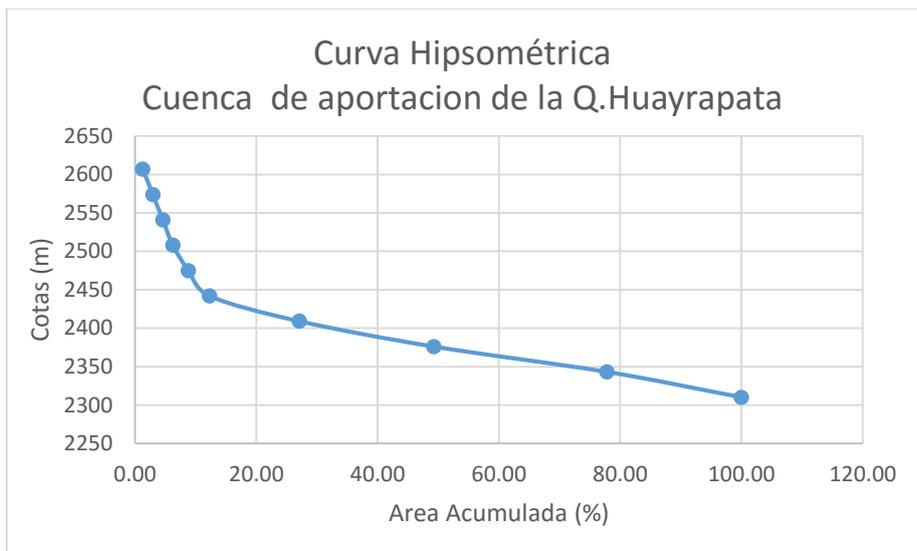


Figura 9. Curva Hipsométrica de la cuenca de aportación de la Q. Huayrapata.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Tabla 5. Índices Fisiográficos de la Cuenca de aportación de la Quebrada Huayrapata.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

<b>EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE GUALACEO</b>				
<b>Cuenca Hidrológica de la Quebrada Huayrapata</b>				
<b>Factores Físicos de la Cuenca</b>				
<b>Cuenca Q. Huayrapata</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Área	A	Km <sup>2</sup>	0,546	
Perímetro	P	Km	3,778	
Longitud	L	Km	1,54	
<b>Parámetros de forma de la cuenca</b>				
<b>Cuenca Q. Huayrapata</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Interpretación
Factor de forma de Horton	Kf	-	0,230	Alargada
Índice de compacidad	Kc	-	1,442	Tiende a Alargada
<b>Parámetros de Relieve</b>				
<b>Cuenca Q. Huayrapata</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Cota Máxima	C.Max	m.s.n.m	2639,782	
Cota Mínima	C. Min	m.s.n.m	2310,154	
Altura Media	A. Med	m.s.n.m	2389,361	
Altura más frecuente	A. Fre	m.s.n.m	2343,116	
Rectángulo Equivalente	R. E.	m <sup>2</sup>	0,476	
Longitud del lado mayor del rectángulo	Lr	m	1,447	



Longitud del lado menor del rectángulo	lr	m	0,329	
Pendiente promedio de la cuenca	m. Med	%	10,09%	
<b>Tiempo de Concentración de la Cuenca</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Método
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,223	Kirpich
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,318	Temez
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,192	Pasini
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,098	Pizarro
<b>Tiempo de Concentración</b>	<b>Tc</b>	<b>min</b>	<b>12.452</b>	<b>Tc Correcto</b>

Los índices fisiográficos nos determinan que la cuenca de la quebrada Huayrapata es de tamaño pequeño, apenas 0.546 Km<sup>2</sup> de área; De forma alargada como lo demuestran los parámetros de forma, la pendiente media de la cuenca con un 10.09% puede llegar a producir una escorrentía veloz, incrementando los caudales picos; Los valores del rectángulo equivalente nos indican que la cuenca de forma rectangular tiende a producir una escorrentía que fluya más rápidamente a la entrada al área urbana. El tiempo de concentración determinado puede variar de acuerdo a las formulaciones efectuadas desde 19.08 min. hasta 5.864 min. en el cual se ha realizado un promedio de los valores Tc (0.223 y 0.192) ya que están en un rango medio, dando como resultado un valor de Tc= 12.452 min.



### Cuenca de la Quebrada Ishcay

La cuenca de aportación a la quebrada Ishcay es una cuenca exorreica, y la corriente de la cuenca es tributaria al río Santa Bárbara. Como lo demuestra la figura.

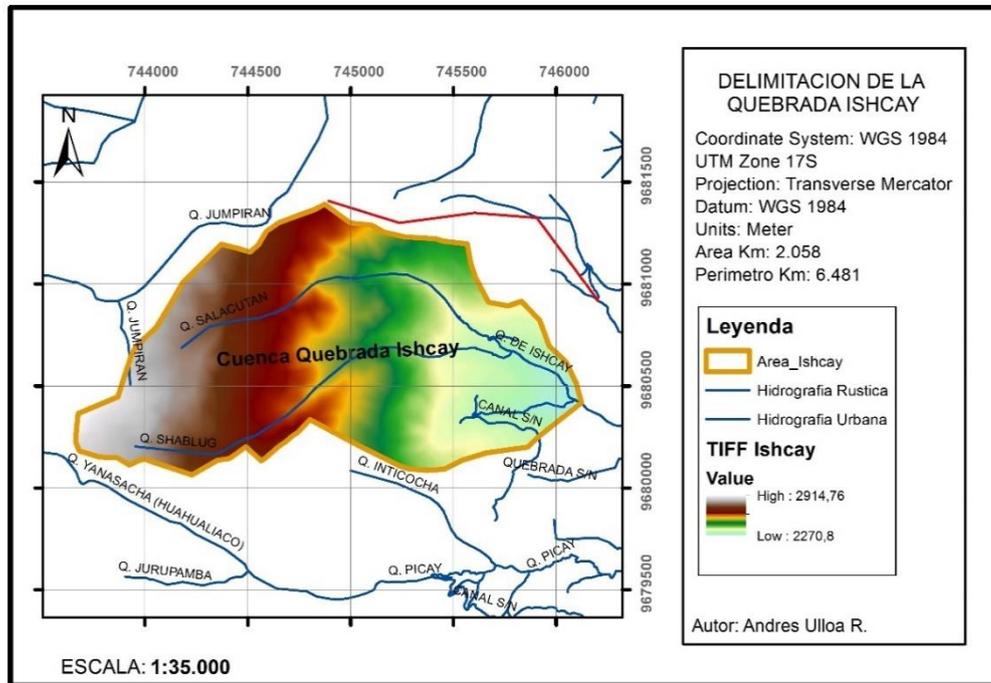


Figura 10. Delimitación de la Quebrada Ishcay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Los índices fisiográficos se detallan en las siguientes descripciones:

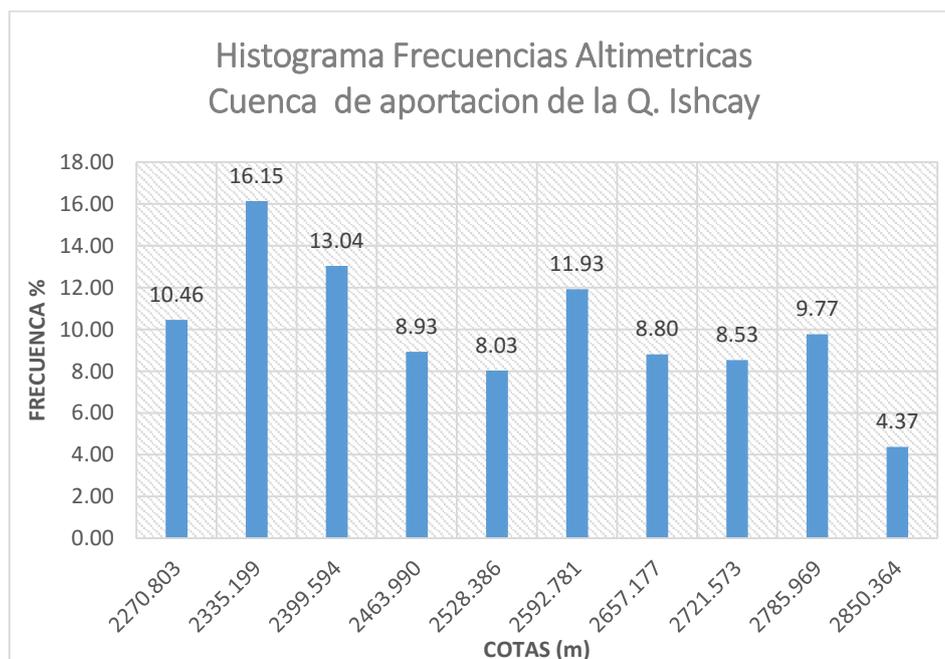


Figura 11. Histograma de Frecuencias Altimétricas de la cuenca de aportación de la Q. Ishcay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

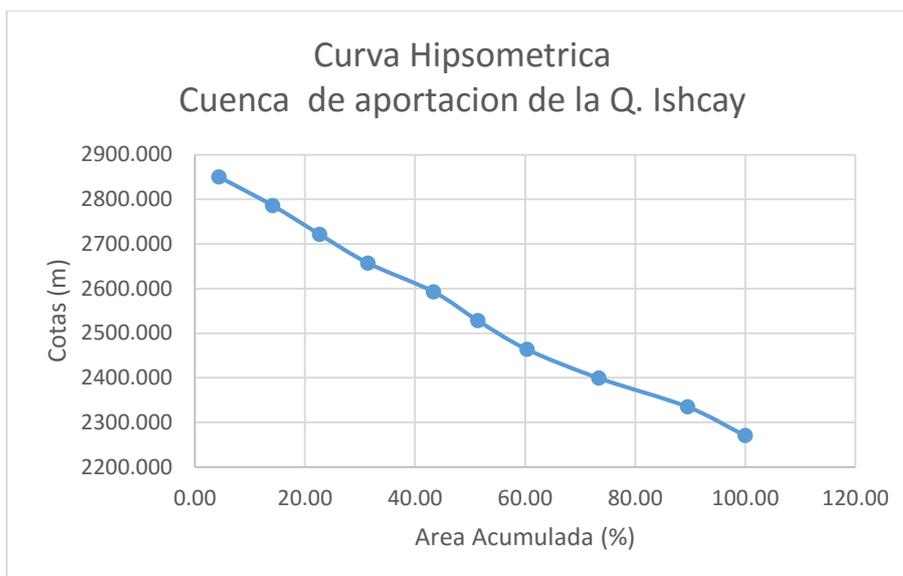


Figura 12. Curva Hipsométrica de la cuenca de aportación de la Q. Ishcay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Tabla 6. Índices Fisiográficos de la Cuenca de aportación de la Quebrada Ishcay.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE GUALACEO</b>				
<b>Cuenca Hidrológica de la Quebrada Ishcay</b>				
<b>Factores Físicos de la Cuenca</b>				
<b>Cuenca Q. Ishcay</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Área	A	Km <sup>2</sup>	2,058	
Perímetro	P	Km	6,481	
Longitud	L	Km	2,714	
<b>Parámetros de forma de la cuenca</b>				
<b>Cuenca Q. Ishcay</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Interpretación
Factor de forma de Horton	Kf	-	0,279	Alargada
Índice de compacidad	Kc	-	1,274	Tiende a Alargada
<b>Parámetros de Relieve</b>				
<b>Cuenca Q. Ishcay</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Cota Máxima	C.Max	m.s.n.m	2914,760	
Cota Mínima	C. Min	m.s.n.m	2270,803	
Altura Media	A. Med	m.s.n.m	2554,368	
Altura más frecuente	A. Fre	m.s.n.m	2335,199	
Rectángulo Equivalente	R. E.	m <sup>2</sup>	1,793	
Longitud del lado mayor del rectángulo	Lr	m	2,249	



Longitud del lado menor del rectángulo	lr	m	0,797	
Pendiente promedio de la cuenca	m. Med	%	12,96%	
<b>Tiempo de Concentración de la Cuenca</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Método
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,314	Kirpich
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,456	Temez
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,991	Pasini
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,155	Pizarro
<b>Tiempo de Concentración</b>	<b>Tc</b>	<b>min</b>	<b>23.083</b>	<b>Tc correcto</b>

Los índices fisiográficos nos determinan que la cuenca de la quebrada Ishcay es de tamaño medio, con un área de 2,058 Km<sup>2</sup>; De forma alargada como lo demuestran los parámetros de forma, la pendiente media de la cuenca con un 12.96% puede llegar a producir una escorrentía veloz, incrementando los caudales picos; Los valores del rectángulo equivalente nos indican que la cuenca de forma rectangular tiende a producir una escorrentía que fluya de forma veloz a la salida de la cuenca es decir a la entrada al área urbana de la quebrada Ishcay. El tiempo de concentración determinado puede variar de acuerdo a las formulaciones efectuadas desde 59.46 min. hasta 9.323 min. en donde se ha realizado un promedio de los valores (0.314 y 0.456) ya que están en un rango medio de Tc, dando como resultado un valor de Tc=23.083 min.



Cuenca de la Quebrada Picay

La cuenca de aportación a la quebrada Picay es una cuenca Exorreica, y la corriente de la cuenca es tributaria al río Santa Bárbara. Como lo demuestra la figura.

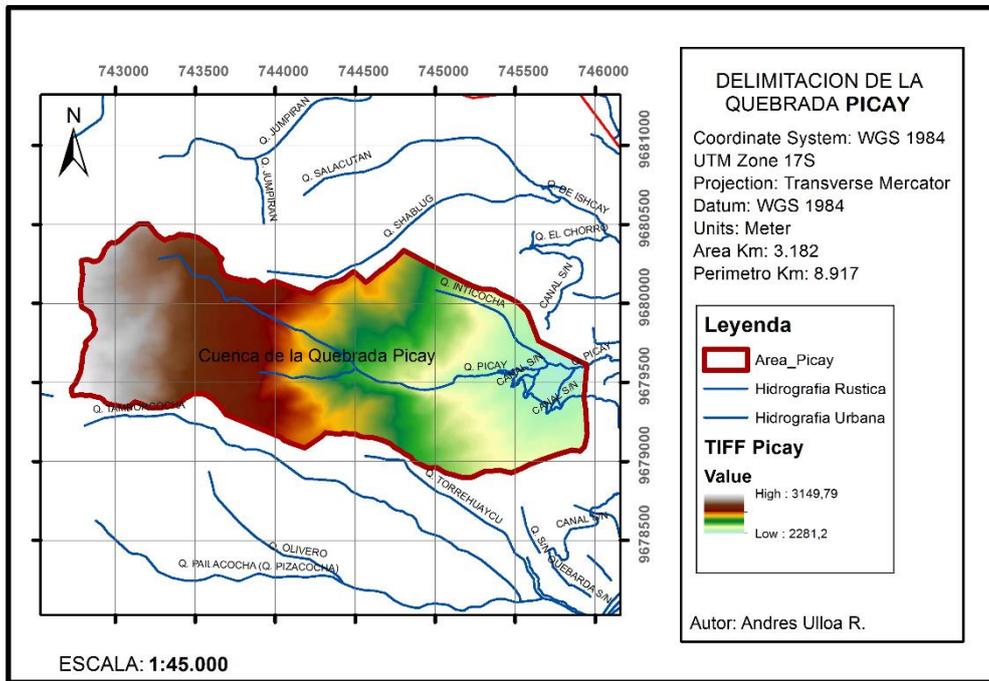


Figura 13. Delimitación de la Quebrada Picay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Los índices fisiográficos se detallan en las siguientes descripciones:

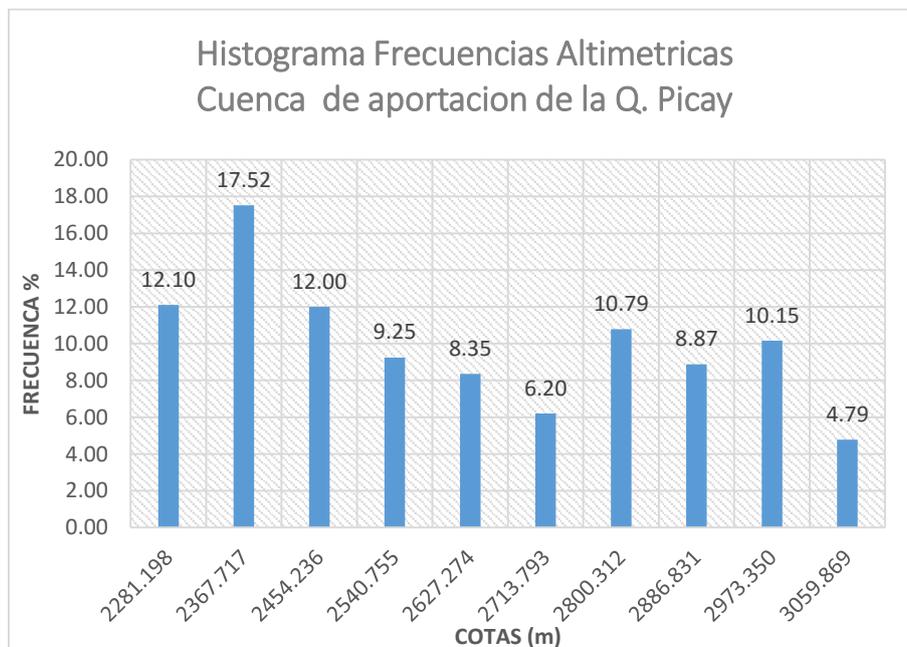


Figura 14. Histograma de Frecuencias Altimétricas de la cuenca de aportación de la Q. Picay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

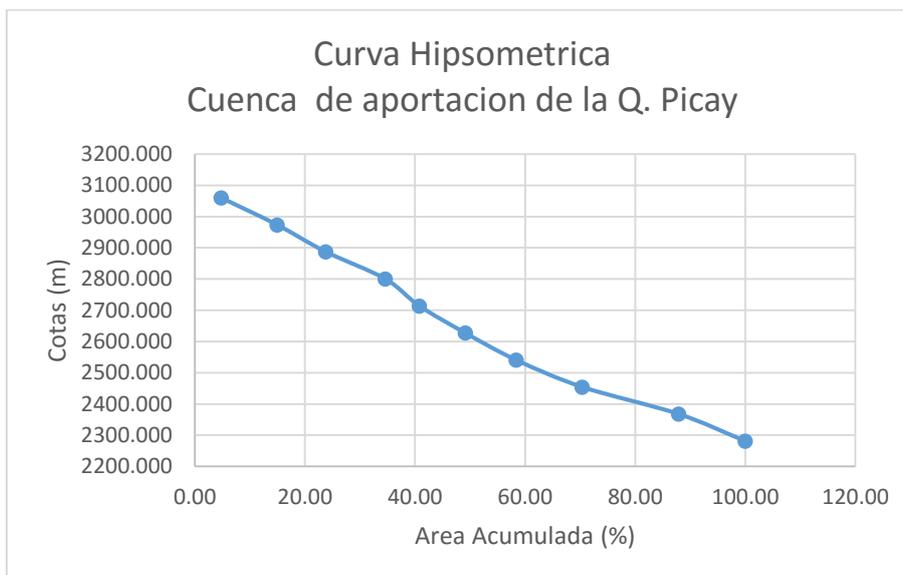


Figura 15. Curva Hipsométrica de la cuenca de aportación de la Q. Picay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.  
Elaboración: Autor.

Tabla 7. Índices Fisiográficos de la Cuenca de aportación de la Quebrada Picay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.  
Elaboración: Autor.

<b>EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE GUALACEO</b>				
<b>Cuenca Hidrológica de la Quebrada Picay</b>				
<b>Factores Físicos de la Cuenca</b>				
<b>Cuenca Q. Picay</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Área	A	Km2	3,182	
Perímetro	P	Km	8,917	
Longitud	L	Km	3,572	
<b>Parámetros de forma de la cuenca</b>				
<b>Cuenca Q. Picay</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Interpretación
Factor de forma de Horton	Kf	-	0,249	Alargada
Índice de compacidad	Kc	-	1,410	Tiende a Alargada
<b>Parámetros de Relieve</b>				
<b>Cuenca Q. Picay</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Cota Máxima	C.Max	m.s.n.m	3146,388	
Cota Mínima	C. Min	m.s.n.m	2281,198	
Altura Media	A. Med	m.s.n.m	2662,907	
Altura más frecuente	A. Fre	m.s.n.m	2367,717	



Rectángulo Equivalente	R. E.	m <sup>2</sup>	2,772	
Longitud del lado mayor del rectángulo	Lr	m	3,369	
Longitud del lado menor del rectángulo	lr	m	0,823	
Pendiente promedio de la cuenca	m. Med	%	12,98%	
<b>Tiempo de Concentración de la Cuenca</b>				
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Método
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,388	Kirpich
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,559	Temez
Tiempo de Concentración	Tc	horas	2,013	Pasini
Tiempo de Concentración	Tc	horas	0,200	Pizarro
<b>Tiempo de Concentración</b>	<b>Tc</b>	<b>min</b>	<b>28.410</b>	<b>Tc correcto</b>

Los índices fisiográficos nos determinan que la cuenca de la quebrada Picay es de tamaño medio, con un área de la cuenca hidrográfica de aportación de 3,182Km<sup>2</sup>; De forma alargada como lo demuestran los parámetros de forma, la pendiente media de la cuenca con un 12.98% puede llegar a producir una escorrentía rápida, incrementando los caudales picos; Los valores del rectángulo equivalente nos indican que la cuenca de forma rectangular tiende a producir una escorrentía que fluya de forma veloz a la salida de la cuenca es decir a la entrada al área urbana de la quebrada Picay. El tiempo de concentración determinado puede variar de acuerdo a las formulaciones efectuadas desde 120.78 min. hasta 12.02 min. en donde los valores que están en un rango medio son Tc= (0.388 y 0.559), dando como resultado un valor de Tc= 28.410.



### 3.4.2. MODELOS HIDROLOGICOS

La base del estudio de la hidrología es la comprensión del ciclo hidrológico, sus procesos e interrelaciones superficiales y de infiltración, estos procesos usualmente se pueden medir de manera directa o estadística, lo que conlleva a una fuerte incertidumbre respecto a la estimación de los procesos generados en el ciclo hidrológico.

Los modelos hidrológicos se presentan como una necesidad y una herramienta para conocer de mejor manera el funcionamiento y comportamiento de los diferentes componentes del ciclo hidrológico.

Los modelos hidrológicos aplicados en las cuencas hidrográficas es una interpretación predictiva de como aplicamos los componentes necesarios para la modelación. Esto significa que no existe modelo perfecto aplicable a las cuencas hidrográficas, cada cuenca tiene condiciones muy particulares como el clima, geográfica, geología, etc., que condicionan la estructuración del modelo.

#### 3.4.2.1. *Proceso de Modelación*

Para la modelación hidrológica es necesario establecer un modelo perceptual, decidir cuáles son los principales procesos que implica observar y analizar las características del suelo, precipitación y el clima, establecer cuáles son los procesos más importantes que intervienen en la formación de la escorrentía: evaporación, evapotranspiración, infiltración, humedad del suelo, cobertura vegetal, usos del suelo, etc.

Una vez establecidos los parámetros se deben relacionar estos procesos y variables principales entre sí por medio de ecuaciones, obteniéndose un modelo conceptual, en este proceso se incluyen coeficientes y parámetros los cuales se determinarán de acuerdo a las condiciones.

#### 3.4.2.2. *Tipos de Modelos Hidrológicos*

Los principales modelos utilizados para la medición de los procesos de precipitación – escorrentía generados en un ciclo hidrológico son los Modelos Matemáticos:

##### i. *Modelos Determinísticos*

Los modelos determinísticos son formulados siguiendo formulas de la física y/o procesos químicos descritos por ecuaciones diferenciales. Un modelo determinístico es formulado en términos de un grupo de variables y parámetros y ecuaciones relacionadas a ellos. Un modelo determinístico implica una relación causa-efecto entre los valores de los parámetros elegidos y los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones. Idealmente, un modelo determinístico debería proveer el mejor detalle en la simulación de los procesos físicos o químicos. En la práctica, sin embargo, la aplicación de modelos determinísticos está asociada frecuentemente a la incapacidad del modelo o del modelador de resolver la variabilidad temporal y espacial del fenómeno natural en incrementos suficientemente pequeños. (Ponce V. M., 1989)

##### ii. *Modelos Probabilísticos*

Un modelo probabilístico se formula siguiendo las leyes al azar o probabilidad. Los modelos probabilísticos son de dos tipos: estadísticos y estocásticos. Los modelos estadísticos tratan como ejemplos observados, mientras que los modelos estocásticos con la estructura del azar



observada en ciertas series hidrológicas temporales – por ejemplo, flujos diarios de corriente en cuencas de tamaño medio. El desarrollo de los modelos estadísticos requiere invariablemente el uso de datos; los modelos estocásticos enfatizan sobre las características. (Ponce V. M., 1989)

### iii. Modelos Conceptuales

Los modelos conceptuales son representaciones simplificadas de los procesos físicos, usualmente recaen sobre descripciones matemáticas (ya sean en forma algebraica o por ecuaciones diferenciales ordinarias), que simulan procesos complejos basándose en unas pocas claves de parámetros conceptuales. El uso extensivo de los modelos conceptuales en la ingeniería hidrológica refleja la complejidad inherente del fenómeno y la incapacidad práctica de considerar los componentes determinísticos en todas las instancias. De allí que los modelos conceptuales son sustitutos útiles y prácticos para los modelos determinísticos. (Ponce V. M., 1989)

### iv. Modelos Paramétricos

Los modelos paramétricos (esto es: empírico, o caja negra) son los más simples de todas las propuestas de modelado. Como su nombre indica, el énfasis de los modelos paramétricos está en los parámetros empíricos en los que está basada la solución. Usualmente, un modelo paramétrico consiste en ecuaciones algebraicas que contiene uno o más parámetros a ser determinados por el análisis de datos u otro medio empírico. La aplicabilidad de los modelos paramétricos está restringida al rango de datos utilizados en la determinación de los valores de los parámetros. Los modelos paramétricos son útiles cuando los modelos conceptuales, determinísticos o probabilísticos no son prácticos o son demasiado caros. (Ponce V. M., 1989).

Si el modelo funciona como una relación calibrada entre entradas y salidas, recibe el nombre de modelo "de caja negra", empírico o paramétrico. Estos modelos se basan en relaciones entrada-salida, sin ningún intento de describir el comportamiento causado por procesos individuales. Dentro de éstos podemos mencionar al método Kostiaikov y Green Ampt (para estimación de infiltración), método racional y método de la curva número (generación de caudales), y, especialmente, los modelos estocásticos de series de tiempo. (Cabrera, 2010)

#### 3.4.2.3. Elección de los Modelos Hidrológicos

Para la modelación del caudal generado en una cuenca hidrográfica se busca un modelo que sea capaz de procesar los datos generados para el sistema precipitación – escorrentía, con el fin de determinar eventos extremos de escorrentía. Para esto será necesario un modelo probabilístico estadístico para un análisis de frecuencia de precipitación máxima. Y para determinar la escorrentía será necesario una modelación paramétrica debido a las variables presentes en el entorno, tales como: tipo de suelo, cobertura vegetal, uso del suelo y geología.



### 3.4.3. USOS ACTUAL DEL SUELO Y TIPO DE SUELO

Los suelos son un componente básico de los ambientes continentales, soporte de gran parte de las necesidades fisiológicas de los vegetales y fundamento de las sociedades y culturas humanas.

Los suelos son un elemento clave de los ecosistemas terrestres, desgraciadamente desconocidos no sólo para la mayoría de la población sino también para muchos técnicos, científicos y gestores políticos. Tanto el suelo como el agua son la base de la producción agrícola, y la base del funcionamiento de los ecosistemas.

Tradicionalmente, ambos elementos, suelo y agua, son considerados de manera única a la hora de abordar su conservación, aun cuando en la mayoría de los casos son evaluados en forma separada y quizás en este contexto es donde el estudio hidrológico adquiere importancia.

La degradación de suelos y aguas, además de afectar a su capacidad productiva también participa en los riesgos de inundaciones, disminución de la biodiversidad, deterioro del agua en cantidad y calidad, y efectos en cambios climáticos globales. La relación entre suelo y agua también aparece cuando se abordan los procesos de erosión hídrica, los cuales están determinados por la interacción entre suelo, lluvia, pendiente, cubierta vegetal y manejo de la tierra. (Artieda, 2008)

#### 3.4.3.1. USOS DEL SUELO

Los usos de suelo de acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial proporcionado por el GAD Municipal del Cantón Guacaleo son:

- Zona Baja: 70% Maíz - 30% Cultivo Bajo Invernadero
- Zona Media Baja: Bosque Natural
- Zona Media Alta: Pasto Natural
- Zona Alta: 70% Vegetación Arbustiva - 30% Pasto Natural

Se ha determinado los usos de suelo de acuerdo a la orto-fotografía, otorgada por la misma entidad y por las inspecciones al campo. Los usos de suelo para cada cuenca de aportación se detallan para la determinación del [Numero de Curva](#)

#### 3.4.3.2. TIPOS DE SUELO

Los tipos de suelos de acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial proporcionado por el GAD Municipal del Cantón Guacaleo son:

- Geomorfología

En las cuencas bajas de aporte de las quebradas de la ciudad de Gualaceo se cuenta en la zona baja y zona media baja como vertientes irregulares, en la zona media alta se ha considerado vertientes cóncavas y en la zona alta como colinas medianas.

Una vertiente es el espacio inclinado entre una divisoria de aguas y una hondonada. En su modelado intervienen: (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos., 2012)

- Procesos de arroyada difusa, procesos estacionales producidos por la acción de las aguas de escorrentía sobre las vertientes.



- Procesos gravitacionales: desplazamientos de material impulsados por su propio peso.

Como Colinas medias se entiende a un relieve más o menos circular que se caracteriza por tener:

- Tierras altas con poca superficie elevada,
- Disección que le permite contar con diversos tipos de pendientes
- Ausencia de pisos altitudinales
- Ubicación preferentemente al pie de los macizos montañosos (colinas o piedemonte).

Se asemejan a las montañas por poseer gran parte de su terreno con fuertes declives, pero se diferencian de ellas porque forman regiones que poseen una geomorfología menos compacta, menos compleja y accidentes de dimensiones menos destacadas.

La geomorfología de las cuencas hidrográficas se puede apreciar en la siguiente imagen:

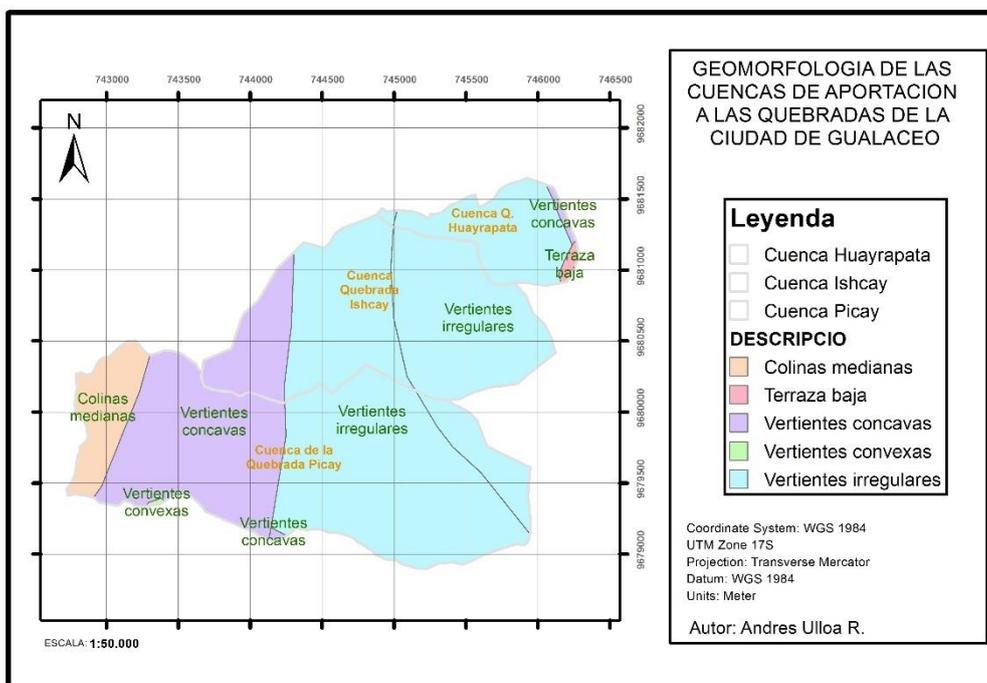


Figura 16. Geomorfología de las cuencas hidrográficas de las quebradas. Fuente: GAD Municipal Gualaceo. Desarrollado por el Autor.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.  
Elaboración: Autor.

- Clasificación de los Suelos

En las cuencas bajas de aporte de las quebradas de la ciudad de Gualaceo se ha considerado en la zona Baja y media baja como: primer orden de **Vertisol**, como suborden **Ustert** y como gran orden Cromustert; En la zona media alta como primer orden **Inceptisol**, como suborden **Tropept** y como gran orden Dystropept (Dystrandept); En la zona alta como: primer orden de **Inceptisol**, como suborden **Tropept** mas **Andept** y como gran orden Dystropept mas Cryandept.



**Vertisol:** Los Vertisoles son suelos arcillosos propiamente dichos, presentando grietas en alguna estación del año o caras de deslizamiento dentro del metro superficial del perfil. El material principal lo constituyen sedimentos con una elevada proporción de arcillas esmectíticas, o productos de alteración de rocas que las generen, siendo suelos minerales caracterizados por su elevado contenido de arcillas hinchables 2:1 tipo montmorillonita (contenido > 30%). Presentan grietas durante el periodo seco, pero que, tras una lluvia, se cierran al aumentar las arcillas de volumen. (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, Vertisoles, 2013)

**Vertisol – Ustert:** Tienen grietas abiertas, si no están regados durante el año, al menos 90 días acumulativos al año. (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, Vertisoles, 2013)

**Vertisol – Ustert – Cromustert:** Son suelos arcillosos ligeramente inclinados, moderadamente profundos y con horizontes superficiales de color pardo oscuro. (Unidad Técnica del Proyecto Panamá - Darién, 1976)

**Inceptisol:** Los Inceptisoles son aquellos suelos que están empezando a mostrar el desarrollo de los horizontes puesto que los suelos son bastante jóvenes todavía en evolución. Es por ello, que en este orden aparecerán suelos con uno o más horizontes de diagnóstico cuya génesis sea de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema. (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, Inceptisoles, 2013)

**Inceptisol – Tropept:** Tienen mayor capacidad de retención de humedad, menor estabilidad de agregados, alto contenido de arcillas, menor profundidad efectiva, menor porosidad total y mayor densidad aparente que los suelos Andept. (Guayasamin de Lopez, Velasquez, & Molina, 1986) Son suelos formados sobre materiales residuales, superficiales a moderadamente profundos y de topografía entre inclinada a muy empinada. Las formaciones de estos suelos están ligadas a condiciones climáticas del tipo tropical húmedo. (Unidad Técnica del Proyecto Panamá - Darién, 1976)

**Inceptisol – Tropept – Dystropept:** Se caracteriza principalmente por presentar una saturación básica inferior a un 40%. (Unidad Técnica del Proyecto Panamá - Darién, 1976)

**Inceptisol – Andept:** Se caracteriza por tener alta estabilidad de agregados, alta profundidad efectiva, alta porosidad total, baja densidad aparente y bajo contenido de arcillas. (Guayasamin de Lopez, Velasquez, & Molina, 1986)

**Inceptisol – Andept – Cryandept:** suelos fríos congelados del páramo. (Guayasamin de Lopez, Velasquez, & Molina, 1986)

La clasificación de los Suelos de las cuencas hidrográficas se puede apreciar en la siguiente imagen:

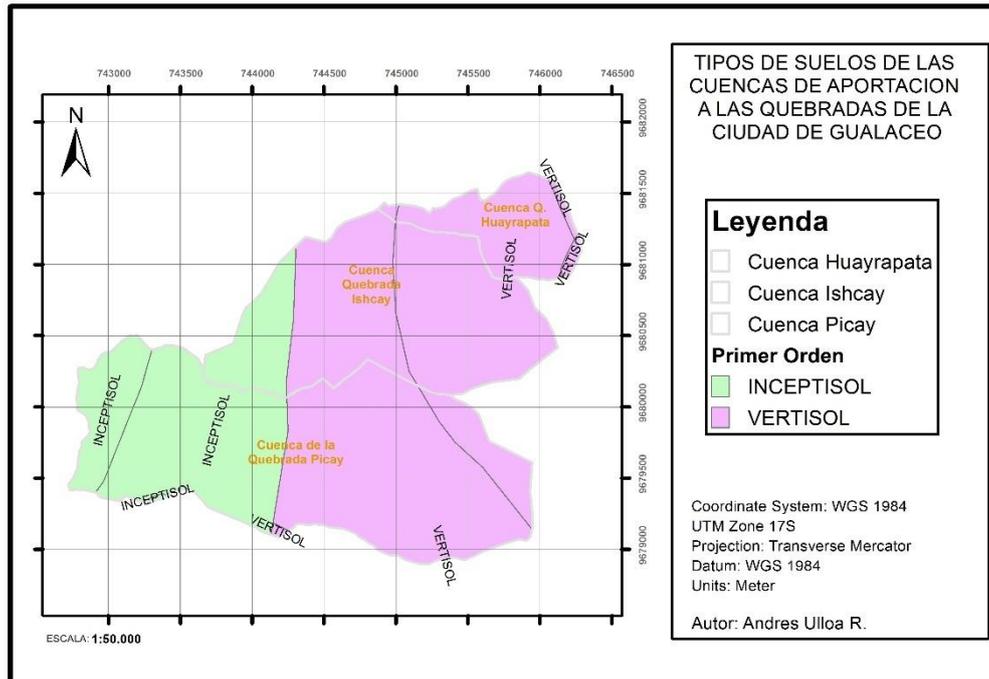


Figura 17. Tipos de Suelos de las cuencas de aportación de las quebradas. Fuente: GAD Municipal Gualaceo. Desarrollado por el Autor.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

- **Geología**

La geología de las cuencas de aporte de las quebradas de la ciudad de Gualaceo se han considerado las siguientes:

Zona Baja:

- Litología: Meta- Volcánicas de San Francisco
- Edad: Jurásico
- Grupo Permeable: C2
- Permeabilidad: Alta a Media
- Tipo de Permeabilidad: porosidad inter-granular y fisuración-rocas sin importancia hidrogeológica.

Zona Alta:

- Litología: Tobas, aglomerados riolíticos y andesíticos
- Edad: Cuaternaria
- Grupo Permeable: B1
- Permeabilidad: Baja a Media
- Tipo de Permeabilidad: Fisuración

Como se puede apreciar la impermeabilidad del suelo de las cuencas de la quebrada de la ciudad de Gualaceo se puede predecir que el porcentaje de impermeabilidad del suelo es mínima.



La Geología de las cuencas hidrográficas se puede apreciar en la siguiente imagen:

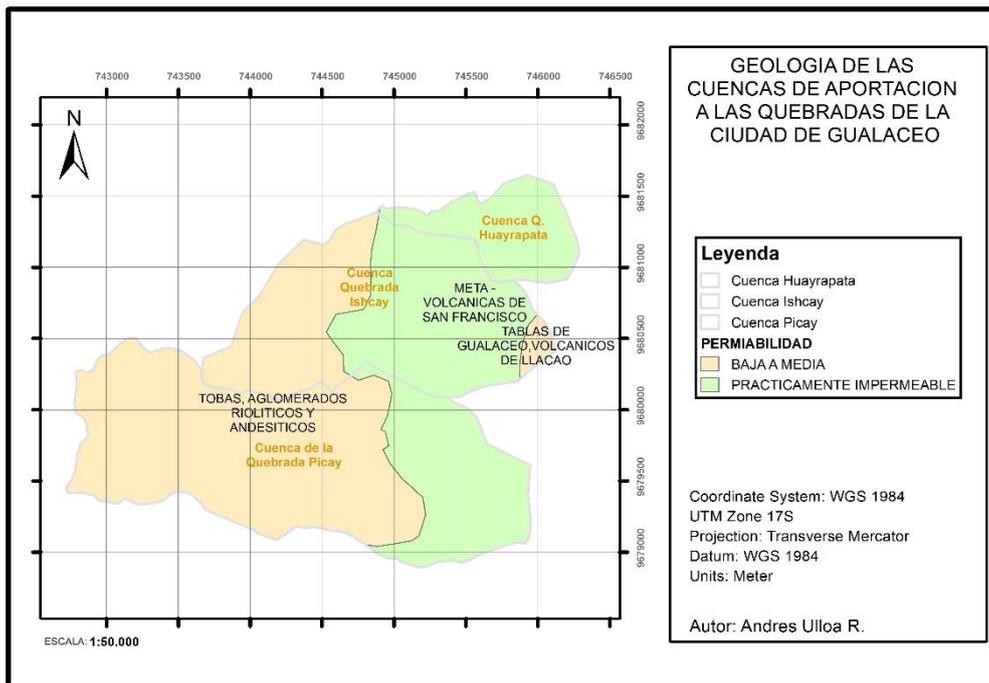


Figura 18. Geología de las cuencas de aportación de las quebradas. Fuente: GAD Municipal Gualaceo. Desarrollado por el Autor.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.



## 3.4.3.3. GRUPO HIDROLOGICO

De acuerdo a los datos recopilados anteriormente de los tipos de suelo, aquí un resumen:

Tabla 8. Clasificación de la Geomorfología de las cuencas hidrográficas.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

GEOMORFOLOGIA		
Zona	Clasificación	Criterio
Baja	Vertientes irregulares	Pendientes medias
Media Baja	Vertientes irregulares	
Media Alta	Vertientes cóncavas	Pendientes medias a altas
Alta	Colinas medias	Pendientes altas

Tabla 9. Clasificación de los tipos de suelos de las cuencas hidrográficas.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Suelos		
Zona	Clasificación	Criterio
Baja	Vertisol – Ustert - Cromustert	Suelos Arcillosos, ligeramente inclinados
Media Baja	Vertisol – Ustert - Cromustert	
Media Alta	Inceptisol – Tropept – Dystrypept	Alto contenido de Arcilla, saturación básica inferior a un 40%
Alta	Inceptisol – Tropept + Andept – Dystrypept + Cryandept	Suelos con arcilla, presentan baja saturación aun presentes en el páramo.

Tabla 10. Clasificación de la Geología de las cuencas hidrográficas.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.

Geología		
Zona	Clasificación	Criterio
Baja	Meta- Volcánicas de San Francisco	Permeabilidad Alta a Media
Alta	Tobas, aglomerados riolíticos y andesíticos	Permeabilidad Baja a Media

La permeabilidad de las cuencas se puede dar un valor mínimo debido a que no existe zonas permeables como, calles con pavimentos, parques, distritos urbanos y las viviendas existentes están dispersas. De acuerdo al (Hydrologic Modeling System – Technical Reference Manual) la impermeabilidad es.

$$\text{Impermeabilidad \%} = \frac{(\% \text{ Desarrollo urbano}) \times (\% \text{ impermeabilidad media de la zona urbanizada})}{100}$$

Entonces para las cuencas hidrográficas de aporte:

$$\begin{aligned} \% \text{ Desarrollo urbano} &= 0\% \\ \% \text{ impermeabilidad media de la zona urbanizada} &= 0\% \end{aligned}$$



Con este concepto se definirá un valor de impermeabilidad de 1% para las cuencas hidrográficas de aporte.

Se puede definir dos grupos hidrológicos de acuerdo a los criterios anteriores en las cuencas hidrográficas de aporte a las quebradas de la ciudad de Gualaceo en la siguiente figura:

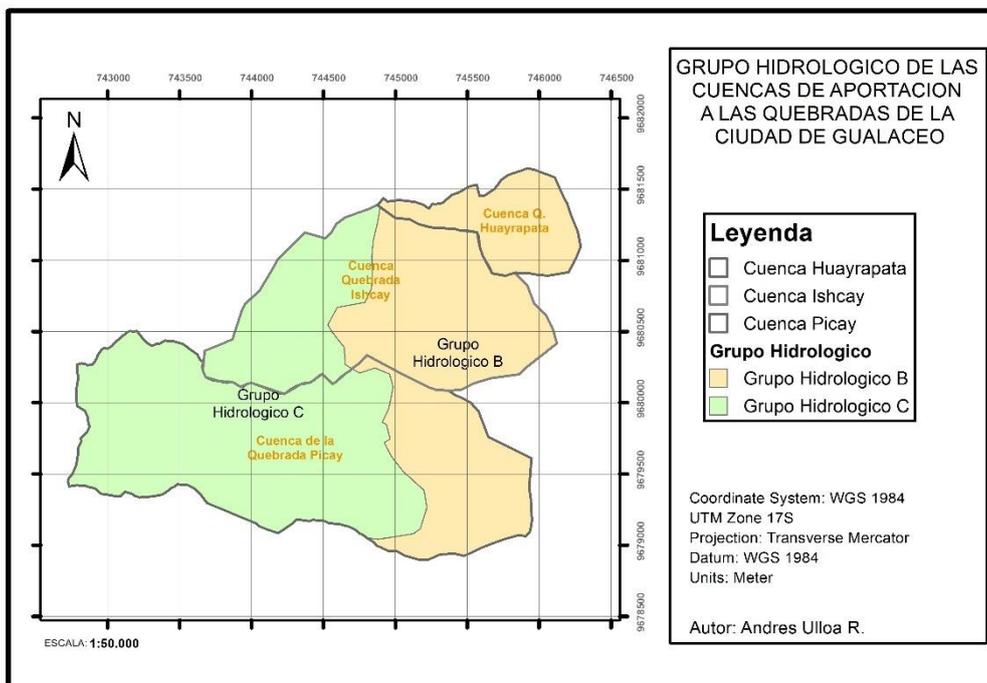


Figura 19. Clasificación del Grupo Hidrológico de las cuencas hidrográficas.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.



### 3.4.4. DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE CURVA

Según (Ven Te Chow, 1994) el método de la Soil Conservation Service es un método relativamente seguro para la estimación de abstracciones y determinar la relación entre la escorrentía directa y la precipitación en función del tipo de suelo y el uso de la tierra. Se explica:

El Soil Conservation Service (SCS) en 1972 desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa  $P_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca  $F_a$  es menor o igual a alguna retención potencial máxima  $S$ . Existe una cierta cantidad de precipitación  $I_a$  (abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es  $(P - I_a)$ .

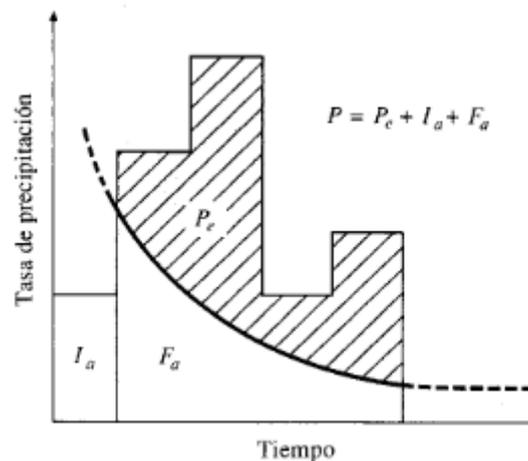


Figura 20. Variables del método de abstracciones de precipitación del SCS:  $I_a$  = abstracción inicial,  $P_e$  = exceso de precipitación,  $F_a$  = abstracción continuada,  $P$  = Precipitación total.

Fuente: (Ven Te Chow, 1994)

La hipótesis del método SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Entonces:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Donde dicha fórmula es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Según la SCS al estudiar varias cuencas experimentales se desarrolla una relación empírica,

$$I_a = 0.2 \times S$$

Entonces:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$



Para estandarizar la relación  $P$  y  $P_e$  el SCS define un número adimensional de curva CN, tal que  $0 \leq CN \leq 100$ . Para superficies impermeables y superficies de agua  $CN = 100$ ; para superficies naturales  $CN \leq 100$ .

Los números de curva se aplican para condiciones antecedentes de humedad (AMC) normales (AMC II), para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los números de curva se define:

$$CN(I) = \frac{4.2 \times CN(II)}{10 - 0.058 \times CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + 0.13 \times CN(II)}$$

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra.

Se definen cuatro grupos de suelos, según (Aparicio, 1989):

- Grupo A: Arenas con poco limo y arcilla; Suelos muy permeables.
- Grupo B: Arenas finas y limos.
- Grupo C: Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla.
- Grupo D: Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con sub horizontes de roca sana; suelos muy impermeables.

Para una mejor determinación del grupo hidrológico se ha considerado según: (ArcGis Resources, 2015)

Grupo A: suelos que tienen un alto índice de infiltración (bajo potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Están formados principalmente por arenas profundas, bien drenadas o excesivamente drenadas, o arenas de textura gruesa. Estos suelos presentan una tasa elevada de transmisión de agua.

Grupo B: suelos que tienen un índice de infiltración moderado cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos moderadamente profundos o profundos, moderadamente bien drenados o bien drenados con una textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.

Grupo C: suelos que tienen un índice de infiltración lento cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos con una capa que impide el movimiento descendente del agua o suelos de textura moderadamente fina o fina. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua lenta.

Grupo D: suelos que tienen un índice de infiltración muy lento (alto potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Se trata fundamentalmente de arcillas con alta capacidad para expandirse y contraerse, suelos con un elevado nivel freático, suelos que presentan una capa de arcilla en la superficie o cerca de la superficie, y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.



Los valores de CN para varios tipos de uso de tierra en estos tipos de suelo especificados, según (Ven Te Chow, 1994)

Tabla 11. Descripción del Uso del Suelo de acuerdo a (Ven Te Chow, 1994. pag:154)

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Descripción del uso del suelo.		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
<b>Tierra Cultivada:</b>	sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	con tratamientos de conservación	62	71	78	81
<b>Pastizales:</b>	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones optimas	39	61	74	80
<b>Vegas de ríos:</b>	condiciones optimas	30	58	71	78
<b>Bosques:</b>	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena <sup>4</sup>	25	55	70	77
<b>Áreas abiertas, césped, parques, cementerios, etc.</b>	óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o mas	39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50% al 75%	49	69	79	84
<b>Áreas comerciables de negocios:</b>	85% o más impermeables	89	92	94	95
<b>Distritos industriales:</b>	72% o más impermeables	81	88	91	93
<b>Residencial<sup>5:6</sup></b>	500 m <sup>2</sup> con un 65% impermeable	77	85	90	92
	1000 m <sup>2</sup> con un 38% impermeable	61	75	83	87
	1500 m <sup>2</sup> con un 30% impermeable	57	72	81	86
	2000 m <sup>2</sup> con un 25% impermeable	54	70	80	85
	4000 m <sup>2</sup> con un 20% impermeable	51	68	79	84
<b>Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.:</b>	suelo impermeable	98	98	98	98
<b>Calles y Carreteras:</b>	pavimentados con cunetas y alcantarillas	98	98	98	98
	grava	76	85	89	91
	tierra	72	82	87	89

<sup>4</sup> Una Buena cubierta está protegida del pastizal, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo

<sup>5</sup> Los números de curva se calculas suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

<sup>6</sup> Los permeables restantes como césped se consideran como pastizales en buena condición.



Para la determinación del número de curva (NC) en las cuencas de aportación de las quebradas de la ciudad de Gualaceo se ha referido a las siguientes Descripciones de uso de suelo: (U.S. Department of Agriculture (USDA), 1964):

- Tierra Cultivada - sin tratamiento de conservación: se ha empleado en la totalidad sin tratamiento de conservación debido a que se observa en el campo, la siembra no es continua y el sembrío no es variado, la cobertura de residuos en la superficie de la tierra es mínima como se observa:



*Figura 21. Tierra Cultivada en diferentes hileras en la cuenca de la quebrada Huayrapata.*

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

- Pastizales – condiciones pobres: se ha empleado en la totalidad de usos de suelo debido a lo observado en campo, la densidad de los pastizales es pequeña, no existe cobertura completa de pastizales en el suelo, se observa en la fotografía:



*Figura 22. Pastizales en condiciones pobres de la cuenca de la quebrada Ishcay.*

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



- Bosques – cubierta pobre: se ha emplazado en zonas bajas de las cuencas de las quebradas de la ciudad de Gualaceo, ya que se ha observado arboles pequeños y los arbustos tiende a ser destruidas por el pastoreo intensivo, se observa en la fotografía:



*Figura 23. Bosques con cubierta pobre de la cuenca de la quebrada Ishcay.*

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

- Bosques – cubierta buena: se ha empleado en la zona alta de la cuenca de la quebrada Picay, ya que se observó bosques protegidos del pastoreo y los arbustos cubren gran parte del suelo. Se puede apreciar en la fotografía:



*Figura 24. Bosques con cubierta buena de la cuenca de la quebrada Picay.*

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



- Carreteras – Tierra: se ha empleado en la totalidad de vías de la zona rustica del cantón, ya que todas las vías su cubierta es de tierra esto provoca una mayor cantidad de sedimentos a las quebradas.



*Figura 25. Todas las vías que existen en las cuencas hidrográficas son de Tierra.*

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



3.4.4.1. Usos de la Tierra de la Cuenca Hidrográfica de la Quebrada Huayrapata

Tabla 12. Clasificación de los Usos de la Tierra de la quebrada Huayrapata.

Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

Usos de la Tierra de la Quebrada Huayrapata				
Uso de Tierra	Usos de Tierra	Grupo Hidrológico	Condición Hidrológica	Área Ha
Bosques	cubierta pobre	B	Condición II	7,453
Carreteras	tierra	B	Condición II	2,297
Tierra Cultivada	sin tratamiento de conservación	B	Condición II	44,841

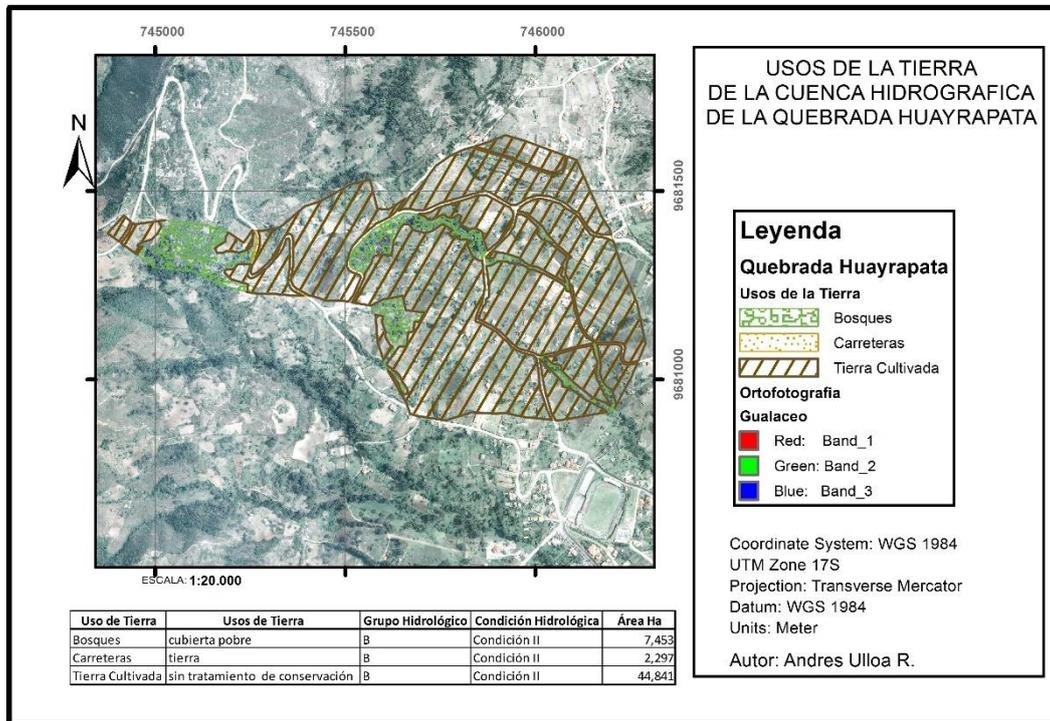


Figura 26. Uso de Suelo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Huayrapata.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.  
Elaboración: Autor.



3.4.4.2. Usos de la Tierra de la Cuenca Hidrográfica de la Quebrada Ishcay

Tabla 13. Clasificación de los Usos de la Tierra de la quebrada Ishcay.

Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

USOS DE LA TIERRA DE LA QUEBRADA ISHCAY				
Uso de la Tierra	Descripción del Suelo	Condición Hidrológica	Grupo Hidrológico	Área Ha
Pastizales	condiciones pobres	Condición II	B	13,874
Pastizales	condiciones pobres	Condición II	C	26,729
Bosque	cubierta pobre	Condición II	B	23,166
Bosque	cubierta pobre	Condición II	C	48,354
Tierra Cultivada	sin tratamiento de conservación	Condición II	B	83,502
Tierra Cultivada	sin tratamiento de conservación	Condición II	C	7,231
Carreteras	tierra	Condición II	B	1,542
Carreteras	tierra	Condición II	C	1,423

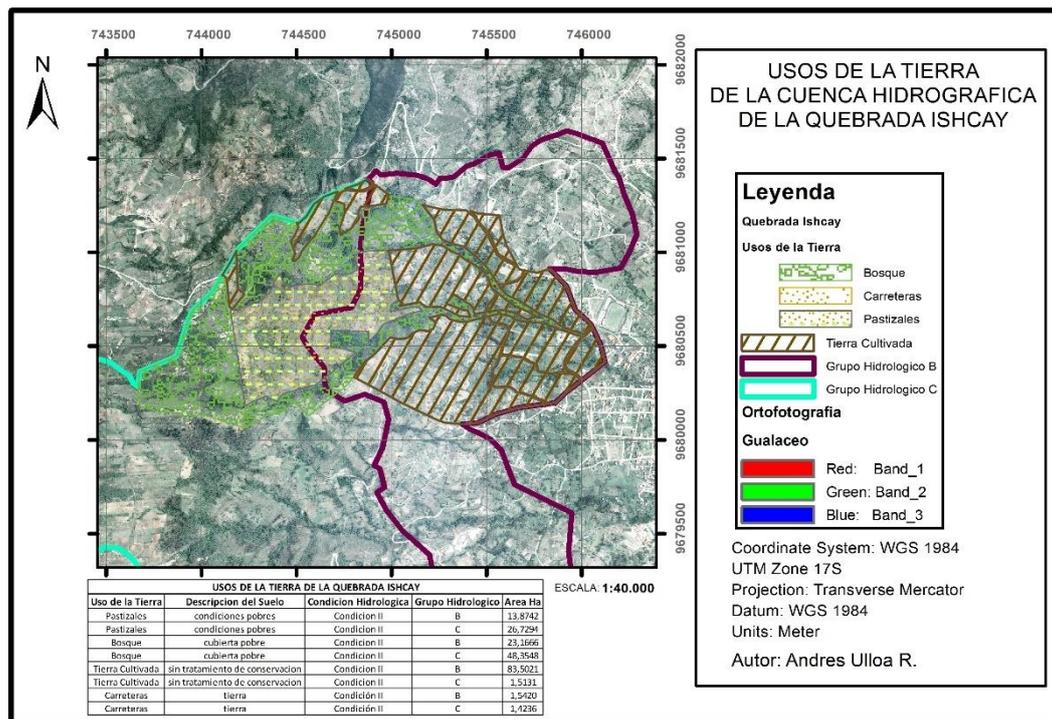


Figura 27. Uso de Suelo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Ishcay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.  
Elaboración: Autor.



3.4.4.3. Usos de la Tierra de la Cuenca Hidrográfica de la Quebrada Picay

Tabla 14. Clasificación de los Usos de la Tierra de la quebrada Picay.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

USOS DE LA TIERRA DE LA QUEBRADA PICAY				
Uso de la Tierra	Descripción del Suelo	Condición Hidrológica	Grupo Hidrológico	Área Ha
Bosque	cubierta buena	Condición II	C	60,830
Bosque	cubierta pobre	Condición II	B	7,349
Bosque	cubierta pobre	Condición II	C	41,065
Carreteras	tierra	Condición II	B	3,103
Carreteras	tierra	Condición II	C	0,458
Pastizales	condiciones pobres	Condición II	B	3,230
Pastizales	condiciones pobres	Condición II	C	108,565
Tierra Cultivada	sin tratamientos de conservación	Condición II	B	75,062
Tierra Cultivada	sin tratamientos de conservación	Condición II	C	17,306

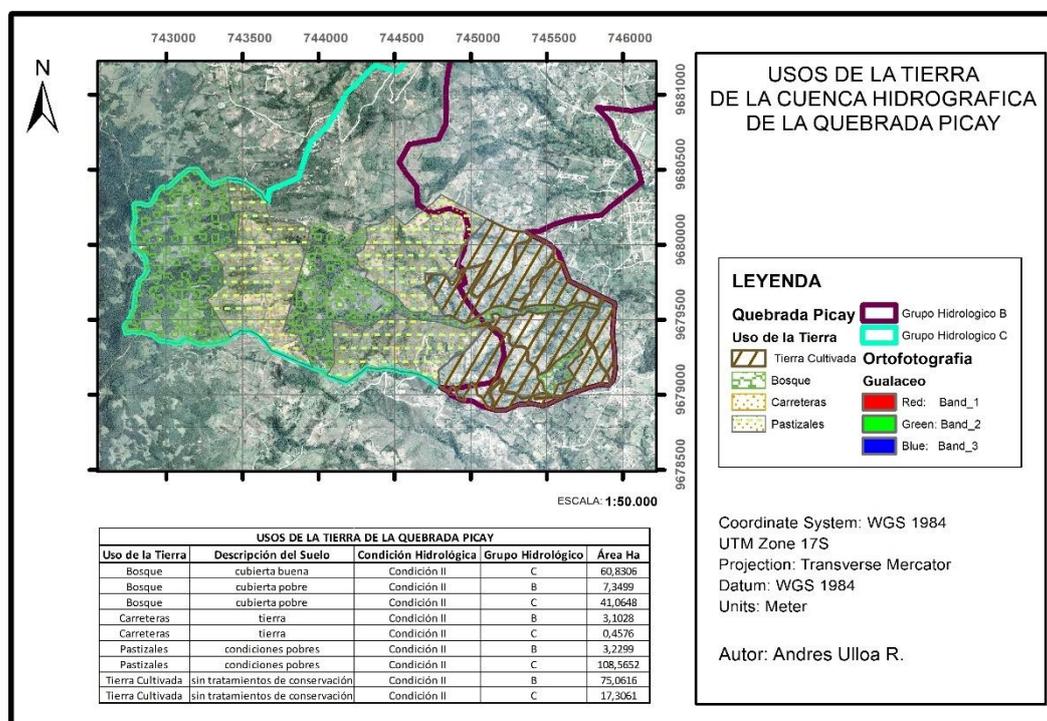


Figura 28. Uso de Suelo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Picay.

Fuente: GAD Municipal de Gualaceo.

Elaboración: Autor.



#### 3.4.4.4. Resumen de los Datos de Números de Curva calculados para las cuencas de aportación de las quebradas de Gualaceo.

Con los antecedentes previstos se ha calculado el número de curva en su condición normal y se ha realizado los cálculos de sus condiciones opuestas para la determinación del caudal generado por la precipitación.

Tabla 15. Números de Curva de la Cuenca de la quebrada Huayrapata para diferentes Condiciones de Humedad.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Numero De Curva de la Cuenca de Aportación de la Quebrada Huayrapata			
Cuenca	Área Ha	Condición Hidrológica	Numero Curva
Huayrapata	54,59	Condición II	78,99
		Condición I	61,23
		Condición III	89,64

Tabla 16. Números de Curva de la Cuenca de la quebrada Ishcay para diferentes Condiciones de Humedad.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Numero De Curva de la Cuenca de Aportación de la Quebrada Ishcay			
Cuenca	Área Ha	Condición Hidrológica	Numero Curva
Ishcay	205,82	Condición II	79,18
		Condición I	61,50
		Condición III	89,74

Tabla 17. Números de Curva de la Cuenca de la quebrada Picay para diferentes Condiciones de Humedad.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Numero De Curva de la Cuenca de Aportación de la Quebrada Picay			
Cuenca	Área Ha	Condición Hidrológica	Numero Curva
Picay	316,97	Condición II	80,12
		Condición I	62,86
		Condición III	90,26

Para el cálculo del caudal mediante el método de la SCS a través del software HEC-MHS se utilizará el número de curva de la condición hidrológica III que hace referencia a condiciones húmedas, ya que se pretende determinar el caudal máximo generado a través del modelo precipitación – escorrentía de las cuencas hídricas de aportación.

Para la cuenca de aportación de la quebrada Huayrapata siendo predominante el grupo hidrológico B donde es un suelo que tienen un índice de infiltración moderado cuando están completamente húmedos se ha calculado un numero de curva CN=78.99 para condición normal, al emplear las fórmulas de interpolación para las condiciones húmedas o secas se determina un numero de curva CN=**89,64** y CN=61.23 respectivamente.

En la cuenca de aportación de la quebrada Ishcay siendo predominante el grupo hidrológico B en un área aproximada de 38 hectáreas al grupo hidrológico C, se ha calculado un numero de



curva para la condición hidrológica normal de CN=79.18, para la condición seca CN=61.50 y para la condición húmeda CN=**89.74**.

En la cuenca de aportación de la quebrada Picay siendo predominante el grupo hidrológico C en un área aproximada de 140 hectáreas al grupo hidrológico B, se ha calculado un número de curva para la condición hidrológica normal de CN=80,12, para la condición seca CN=62,86 y para la condición húmeda CN=**90.26**.

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 3.5.1. CORRELACION, ANALISIS Y PRUEBA DE DATOS DE PRECIPITACIONES

Es frecuente que en un registro de precipitación falten los datos de un cierto periodo, debido a la ausencia del operador o a fallas del aparato registrador. En estos casos se pueden estimar los datos faltantes si se tienen registros simultáneos de algunas estaciones situadas cerca de la estación en cuestión y uniformemente repartidas. (Aparicio, 1989)

Debido a que los datos de las estaciones vecinas apenas se podían conseguir desde el año 1990 aproximadamente y en otros casos desde el 2005 como es el caso de la estación más cercana la estación de Punguhuayco - Chordeleg. Debido a escasos datos de las estaciones vecinas se procedió a la correlación de datos de la misma estación, es decir, los datos completos se creará una estación ficticia con la cual se realizará la correlación de datos.

##### i. Auto Correlación de Datos

Para la auto correlación de Datos de la Estación Meteorológica M139 de Gualaceo se utilizaron los siguientes métodos:

- *Método Racional*

Entre los diferentes métodos aplicados para determinar datos faltantes de lluvia en los registros pluviométricos, se puede mencionar el método racional, el cual es propuesto por José Manuel Guevara en el trabajo titulado: Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. (Guevara, 2003). El procedimiento de este método se describe:

- 1) En los Datos originales donde están expresados las precipitaciones máximas de 24 horas de los doce meses y de los años disponibles, incluidos los meses faltantes se realiza la suma de cada año.
- 2) Se calcula los porcentajes de lluvia en los meses con datos completos, se saca la suma de cada mes y el promedio de cada mes de los años de registro completos.

$$\text{Porcentajes de lluvia Datos Completos} = \frac{\text{Precipitación mm (Mes)}}{\sum \text{Precipitación Año}} \%$$

- 3) Se calcula el porcentaje de lluvia de los meses con datos faltantes:

$$C = 1 - \left( \sum \text{Promedio del Mes Faltan} \right) \%$$

- 4) Se calcula la precipitación Máxima de 24 horas mensuales.

$$\text{Precipitación} = \frac{\bar{x} \text{Promedio de Lluvia Datos Completos} \times \sum (\text{Precipitaciones de datos incompletos})}{\text{Porcentajes de lluvia Meses Faltantes } C} \text{ mm}$$



5) Estos datos se calculan para todo el año donde no exista registro de algún mes.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 2, Sección 6.2

- *Método Promedio*

Este método de los promedios propuesto por el Ingeniero Diego Coronel, Director de la Tesis, en este método se propone realizar un promedio de 3 o más valores de precipitación del mismo mes, pero de diferentes años, cercanos al año del valor de precipitación desconocido, de esta forma se procederá a completar los valores de precipitación desconocidos. Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 2, Sección 6.2

- *Método Razón Q*

El método Razón Q se aplica cuando se tiene 2 estaciones, pero debido las razones anteriormente citadas se procederá a realizar el promedio de los años completos y se tomará como estación secundaria o estación ficticia para el relleno de datos faltantes.

La razón q entre los valores mensuales, anuales o medios, tiende a ser constante. Así, si se tienen dos estaciones (A y B), se determina "q" como:  $q = \sum b_i / \sum a_i$

Donde:

- i: desde 1 hasta N;
- N: número total de datos de la serie;
- $b_i$ : dato i de la estación B;
- $a_i$ : dato i de la estación A.
- Por tanto, el valor  $b_j$  faltante en la estación B, se obtiene como:  $b_j = q * a_j$

Entonces:

- $\sum a_i$ = Sumatoria de Promedios de los Registros Completos.
- $\sum b_i$ = Sumatoria de los Registros Incompletos
- $q$ = Relación entre  $\sum b_i$  y  $\sum a_i$
- $b_j$ = Estimación de los datos faltantes en el registro

De la misma forma en los procesos anteriores se calcula el valor de precipitación máxima de 24 horas para todos los meses de un año donde no exista registro de algún mes. Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 2, Sección 6.2

- *Método Razón Normal*

Se aplica a pares de estaciones, pero en este caso al tener una sola estación se procederá a realizar el promedio de los años completas y se tomará como estación secundaria o estación ficticia para el relleno de datos faltantes.

Este método considera promedios de precipitación anuales en períodos iguales, no normales. Sea  $P_x$  la precipitación anual de una estación X para un año determinado y utilizando los datos de los promedios como Estación A. La fórmula para calcular la precipitación es:

$$P_x = N_x * P_A / N_A.$$



Donde:

$N_x$ : precipitación promedio de la estación X, para el mismo período que se obtiene la lluvia promedio de la estación A (NA).

PA: valores correspondientes a  $P_x$ , de la estación A

De la misma forma en los procesos anteriores se calcula el valor de precipitación máxima de 24 horas para todos los meses de un año donde no exista registro de algún mes.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 2, Sección 6.2

- *Método Lineal*

Se aplica a pares de estaciones, pero en este caso al tener una sola estación se procederá a realizar el promedio de los años completos y se tomará como estación secundaria o estación ficticia para el relleno de datos faltantes.

En este método se realizará la correlación lineal del Año Faltante y el Promedio de Datos Completos. Se sacará la ecuación de correlación y se aplicará para el relleno de datos.

De la misma forma en los procesos anteriores se calcula el valor de precipitación máxima de 24 horas para todos los meses de un año donde no exista registro de algún mes.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 2, Sección 6.2

- ii. *Análisis y Pruebas de Datos Correlacionados Máximos Diarios Anuales*

Antes de analizar los datos de correlación, se procederá a revisar el error de los datos faltantes de los años incompletos y se observará la variación de estos, según los métodos de correlación empleados y se comparará con el valor  $R^2$  (Coeficiente de correlación). Así mismo se empleará dos métodos más para el Análisis de los datos correlacionados.

- *Coeficiente  $R^2$  o Coeficiente de correlación.*

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) o coeficiente de correlación múltiple al cuadrado, es una medida descriptiva que sirve para evaluar la bondad de ajuste del modelo a los datos, ya que mide la capacidad predictiva del modelo ajustado. Se define como el cociente entre la variabilidad explicada por la regresión y la variabilidad total.

Aplicando la fórmula proporcionada por Excel "*COEFICIENTE.R2*" en donde devuelve el cuadrado del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson mediante los puntos de datos de conocido\_y y conocido\_x, se puede interpretar el valor R cuadrado como la proporción de la varianza de y que puede atribuirse a la varianza de x. (Microsoft Excel, 2013)

De esta forma el coeficiente R cuadrado mientras mayor sea o se aproxime a 100% o a la unidad se interpretará como un ajuste perfecto de los datos.

Como se observa en los Anexos el mayor valor del coeficiente de Correlación o R cuadrado de los métodos empleados para la auto correlación de la precipitación máxima de 24 horas mensuales se describen en la siguiente tabla:



Tabla 18. Resultados del Método del Coeficiente R2 de la Auto correlación de precipitación.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Método de Auto correlación	Máximo coeficiente R cuadrado
Método Racional	39,3%
Método Promedio	41,0%
Método Razón Q	29,7%
Método Razón - Normal	29,7%
Método Lineal	29,7%

Analizando la Tabla 17 se puede deducir que el método de **Promedio** tiene un mayor ajuste de correlación entre los datos ajustados y los datos originales de precipitación de lluvia máxima diaria.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 3, Sección 6.3

• *Método de raíz del error cuadrático medio (RMSE)*

La Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) es una medida de desempeño cuantitativa utilizada comúnmente para evaluar métodos de pronóstico de datos. En este contexto RMSE consiste en la raíz cuadrada de la sumatoria de los errores cuadráticos. La fórmula de cálculo del RMSE se muestra a continuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \times \left[ \sum (y_1 - y_2)^2 \right]}$$

Donde:

- $y_1$ = valor original de la precipitación máxima de 24 horas.
- $y_2$ = valor ajustado de la precipitación máxima de 24 horas
- $n$ = número de datos completos de precipitación máxima de 24 horas.

De esta forma mientras menor sea el valor de RMSE, menor será el error de auto correlación de los datos ajustados.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 3, Sección 6.3

Como se observa en los Anexos el menor valor de RMSE de los métodos empleados para la auto correlación de la precipitación máxima de 24 horas mensuales se describen en la siguiente tabla:



Tabla 19. Resultados del Método RMSE de la Auto correlación de precipitación.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Método de Auto correlación	Mínimo coeficiente RMSE
Método Racional	6,495
Método Promedio	8,185
Método Razón Q	5,878
Método Razón - Normal	5,910
Método Lineal	4,658

Analizando la Tabla 18 se puede observar que los métodos aplicados para la auto correlación de la precipitación máxima diaria, tienen un error mínimo el menor valor del método **Lineal**.

- *Método de Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE)*

El Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) es un indicador del ajuste de los datos entre una misma muestra, que mide el tamaño del error absoluto en términos porcentuales. El hecho que se estime una magnitud del error porcentual lo hace un indicador frecuentemente utilizado por los encargados de elaborar pronósticos debido a su fácil interpretación.

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y_1 - y_2|}{|y_1|}}{n}$$

Donde:

- $y_1$ = valor original de la precipitación máxima de 24 horas.
- $y_2$ = valor ajustado de la precipitación máxima de 24 horas
- $n$ = número de datos completos de precipitación máxima de 24 horas.

Determinado el valor del MAPE mientras menor sea el porcentaje de error, mejor se considera el ajuste de auto correlación de los datos ajustados.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 3, Sección 6.3

Como se observa en la tabla de cálculo Anexado el menor valor de error porcentual determinado para los diferentes métodos de auto correlación se describen en la siguiente tabla:

Tabla 20. Resultados del Método MAPE de la Auto correlación de precipitación.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Método de Auto correlación	Mínimo coeficiente MAPE
Método Racional	40%
Método Promedio	31%
Método Razón Q	35%
Método Razón - Normal	36%
Método Lineal	25%



Analizando la Tabla 19 de resultados del método MAPE se puede apreciar que el error del proceso de auto correlación de las precipitaciones máximas diarias no supera el 40%, teniendo así que menor error tiene el método **Lineal**.

Teniendo en cuenta los errores y ajustes realizados, se puede apreciar que el mejor método de auto correlación se lo realiza mediante el **Método Lineal**, pero a consideración del Director de la Tesis, además la variación de ajuste y los errores entre los diferentes métodos de auto correlación no varía en una margen considerable, se optó que, para determinar el dato faltante, para los meses que se pudieron observar en los Anexos de cálculo, se realice un promedio de los valores similares ajustados, en un margen de mas (+), menos (-), 2 a 3 mm/24horas entre los métodos empleados.



- *Resultados*

Se puede observar que los valores completados no se rigen a ningún valor de los métodos empleados para la auto correlación, por esta razón en la siguiente tabla se detalla que valores se tomaron para realizar el promedio y determinar la lluvia máxima de 24 horas del mes faltante.

*Tabla 21. Método empleado para el resultado de la auto correlación de precipitaciones máximas de 24 horas.*

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

DATO FALTANTE		METODO USADO				
AÑO	MES	RACIONAL	PROMEDIO	RAZON Q	RAZON NORMAL	LINEAL
1967	Febrero	x		x	x	
1971	Junio	x		x	x	x
1977	Abril			x	x	x
1977	Octubre	x			x	x
1986	Julio	x		x		x
1986	Agosto	x		x	x	
1986	Septiembre	x	x	x		x
1988	Julio			x	x	x
1991	Julio	x		x	x	
1994	Mayo	x			x	x
1996	Marzo	x			x	x
1996	Abril	x			x	x
1999	Octubre	x			x	x
1999	Noviembre	x	x		x	x
1999	Diciembre	x	x		x	x
2006	Agosto	x		x	x	

La Tabla se puede interpretar de la siguiente manera, como un ejemplo:

*“El año 1977, mes de abril, se realizaron los promedios de la precipitación máxima de 24 horas, los métodos de **Razón Q, Razón Normal y Lineal.**”*

De esta misma forma, se puede interpretar para los diferentes meses que no tenían el dato de precipitación máxima de 24 horas, dando como resultado la Completacion de datos la siguiente tabla:



Tabla 22. Datos completados de los años incompletos de la Estación Meteorológica M139.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

COMPLETACION DE ESTACIONES										
Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Precipitación Máxima de 24 H									
Enero	26.300	18.000	7.500	36.800	0.010	23.800	19.000	39.100	20.900	27.100
Febrero	17.364	21.800	3.800	10.400	30.400	9.400	11.500	32.000	22.900	87.200
Marzo	9.600	104.700	27.000	10.800	11.800	17.000	31.600	22.336	34.800	11.100
Abril	15.800	32.700	14.499	5.500	44.300	15.300	20.100	23.157	10.300	21.800
Mayo	11.700	9.100	5.800	9.700	27.300	10.600	18.015	27.600	24.000	7.700
Junio	9.200	15.835	18.900	3.200	8.400	11.300	11.000	7.600	8.700	12.800
Julio	13.900	11.300	6.600	6.539	9.882	10.591	20.200	8.900	15.900	3.700
Agosto	13.400	11.200	10.200	4.957	7.600	1.600	18.500	10.400	8.400	9.314
Septiembre	9.800	11.400	15.500	7.087	6.600	33.000	8.500	10.500	32.400	14.100
Octubre	9.500	15.600	14.227	14.200	22.700	31.500	35.200	19.900	21.453	35.400
Noviembre	10.600	8.500	25.400	23.700	18.100	26.200	29.000	10.400	25.609	21.500
Diciembre	12.300	13.300	7.800	16.100	23.000	22.700	25.500	14.900	23.299	21.400

Los cuadros de color celeste son los datos de precipitación máxima de 24 horas de la estación meteorológica M139 que se han completado.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 4, Sección 6.4

### iii. Prueba de Normalidad de Anderson

Se puede realizar una prueba de ajuste de distribución para deducir que los valores no tienen dependencia de los datos correlacionados, esta prueba se basa en la comparación de la distribución de probabilidades acumulada empírica que es el resultado de los datos autos correlacionados, con la distribución de probabilidades acumulada teórica.

Al determinar que la serie sea aleatoria, garantiza que no exista dependencia entre ciclos largos. Sigue las leyes del azar y que no sean eventos determinísticos es decir que lo de un año no tenga que ver con el otro y así sucesivamente.

La prueba de Anderson se realiza con los siguientes pasos:

1. Se determina el factor (k) el cual significa los tiempos de retraso.  $k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3}$



2. Se determina los valores de  $r_k$ , los cuales al dibujarse con el parámetro  $k$  como ordenada se dibuja la línea de correlograma de la muestra.

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

Donde:  $Q_i^j = \text{Precipitación Máxima 24 H Anual}$

$Q^j = \text{Media Aritmética de las precipitaciones}$

$Q_{i+k}^j = \text{Precipitación Máxima de 24 H Anuales de } i + k$

3. Se determinan los límites del ajuste de Anderson, ya que si los valores de  $r_k$  dibujados sobrepasar en un 10%, significa que la serie no es independiente. La fórmula es la siguiente:

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1,96 * \sqrt{(n_j - k - 1)}}{n_j - k}$$

Donde:  $n_j = \text{numero de datos de la serie}$

$k = \text{valor de } k$

Las gráficas de Independencia de Anderson se describen en el siguiente gráfico:

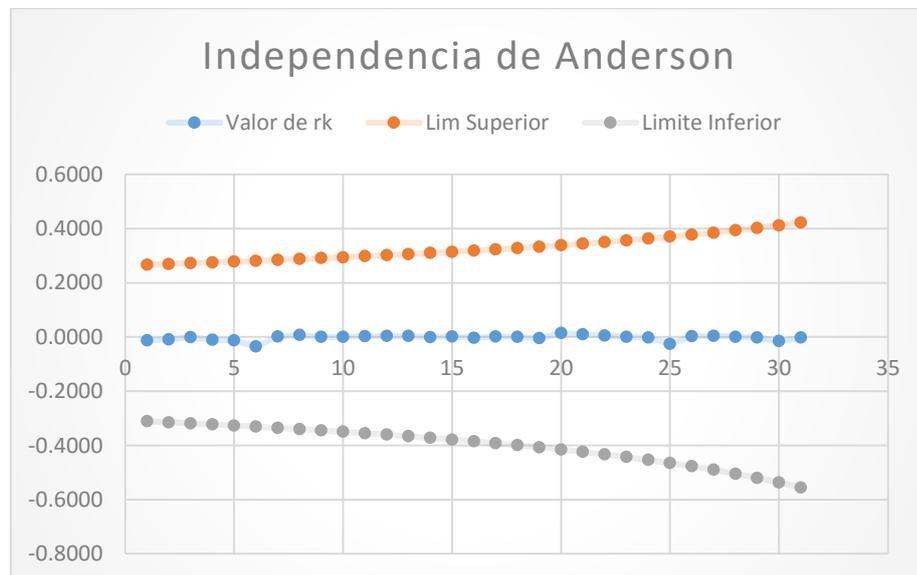


Figura 29. Resultado de la prueba de independencia de Anderson.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Como se aprecia en la Figura el 0% de los valores de  $r_k$  sobrepasan los límites de confianza, eso quiere decir que la serie completa de las precipitaciones máximas de 24 horas Anuales de la estación meteorológica Gualaceo-M139, es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.



#### iv. Ajuste de Datos para Intervalos de Tiempo de Observación Fijos

Los datos de lluvia publicados usualmente para intervalos de tiempo fijos, por ejemplo 06:00am - 12:00pm (seis horas). Dichos datos rara vez restituyen las cantidades máximas reales para las duraciones indicadas. Por ejemplo, es muy probable que la cantidad diaria máxima anual observada sea apreciablemente menor que la cantidad máxima anual determinada con intervalos de 1440 minutos consecutivos, sin restricción de ningún tiempo en particular. (Organización Meteorológica Mundial, 1994)

Esta misma teoría la corrobora en los anuarios meteorológicos del INAMHI, Los valores diarios son calculados como la suma de las observaciones de las 13 y 19 horas del día en cuestión, más la observación de las 07 horas del día siguiente.

Para el cálculo del valor en 24 horas, se requiere fundamentalmente la observación de las 07 horas ya que, siendo un proceso acumulativo, se puede no registrar los datos de las 13 horas y/o de las 19 horas, valores que se acumulan en el registro de las 07 horas del día siguiente; pero, si no se realiza esta última observación, el valor acumulado para la próxima observación corresponderá al valor total del día, incluyendo una parte del valor del siguiente día, dejando de ser por tanto, un valor en 24 horas.

La máxima en 24 horas, se obtiene únicamente si ha sido posible calcular el valor en 24 horas para todos los días del mes y corresponde a un dato puntual, considerado el máximo absoluto. La estadística a escala mensual se obtiene con un mínimo de 20 días registrados. (SIGIHM, 2013)

El ajuste de los valores de lluvia a intervalos fijos de acuerdo con el número de unidades de observación dentro del intervalo se puede hacer de la siguiente manera: (Organización Meteorológica Mundial, 1994)

Tabla 23. Ajuste de los valores de lluvia de acuerdo a las unidades de observación.

Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 1994).

Elaboración: Autor.

Número de unidades de observación	1	2	3-4	5-8	9-24	>24
Factor de Ajuste	1.13	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

De acuerdo a la Tabla 22 y a la información del anuario meteorológico la serie antes completada y aplicando un factor de ajuste de **1.13** queda de la siguiente forma:

Tabla 24. Mayorización de la precipitación Máxima de 24 Horas Anuales.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Nombre	Estación M139 Gualaceo	
Años	Precipitación Máxima 24 H Anual en mm	Precipitación Máxima 24 H Anual Mayorizada en mm
1964	27	35,1
1965	25,7	33,41
1966	48	62,4
1967	26,3	34,19
1968	52,8	68,64
1969	65,7	85,41



1970	39,7	51,61
1971	104,7	136,11
1972	43,1	56,03
1973	41,8	54,34
1974	34,7	45,11
1975	38,6	50,18
1977	27	35,1
1978	43,5	56,55
1979	39,9	51,87
1980	50,2	65,26
1981	47,2	61,36
1982	40,3	52,39
1983	48,4	62,92
1984	31,3	40,69
1985	28	36,4
1986	36,8	47,84
1987	43,3	56,29
1988	44,3	57,59
1989	36,9	47,97
1990	38,4	49,92
1991	33	42,9
1992	40	52
1994	35,2	45,76
1995	34,7	45,11
1996	39,1	50,83
1997	44,7	58,11
1998	38,1	49,53
1999	34,8	45,24
2001	30	39
2002	36	46,8
2003	32,7	42,51
2004	50,1	65,13
2005	32,5	42,25
2006	87,2	113,36
2007	35,9	46,67
2008	38	49,4
2009	39,3	51,09
2010	45,5	59,15
2011	61,7	80,21
2012	48,4	62,92

Teniendo así una serie completa y asegurándonos de que es confiable se procederá a calcular las probabilidades de distribución de la serie de datos de precipitación y finalmente se calculará las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) para diferentes periodos de retorno.



### 3.6. ANALISIS PROBABILISTICO

Antes de proceder se deberá asignar un periodo de retorno para la obra o estudio en cuestión, generalmente es necesario, para conocer dicho caudal de diseño, hacer extrapolaciones a partir de los gastos máximos anuales registrados, pues rara vez este periodo es menor al periodo de datos. (Aparicio, 1989)

Por ejemplo, puede ser necesario determinar un caudal de diseño con periodo de retorno de 1000 años a partir de 25 años de registro. Si los gastos máximos anuales registrados se dibujan contra sus respectivos periodos de retorno, generalmente se observa alguna tendencia más o menos definida. El problema radica en cómo extender esta tendencia hasta el periodo de retorno deseado. Una posibilidad es extrapolar los datos a ojo, es decir, gráficamente.

Para eliminar esta subjetividad, se debe buscar entre las distintas funciones de distribución de probabilidad teóricas la que se ajuste mejor a los datos medidos, y usar esta función para la extrapolación. (Aparicio, 1989)

Entre las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología, se estudiarán las siguientes:

- a) Normal
- b) Logarítmico normal
- c) Log Pearson III
- d) Gumbel

Los periodos de retorno a evaluar se basan en determinaciones antes realizadas para la evaluación hidrológica de cuencas.

En hidrología, los períodos de retorno varían típicamente de 10 a 100 años, y en lugares donde la Precipitación Máxima Probable no ha sido definida, hasta 10,000 años. La selección de período de retorno depende de varios factores, entre los cuales se incluyen el tamaño de la cuenca, la importancia de la estructura, y el grado de seguridad deseado. (Ponce V. M., 2015)

Tabla 25. Periodo de Retorno a utilizarse en el análisis probabilístico hidrológico de las cuencas hidrográficas.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Periodo de Retorno</b>	<b>T</b>	<b>5</b>
<b>Probabilidad</b>	<b>P</b>	0,8000
<b>Periodo de Retorno</b>	<b>T</b>	10
<b>Probabilidad</b>	<b>P</b>	0,9000
<b>Periodo de Retorno</b>	<b>T</b>	25
<b>Probabilidad</b>	<b>P</b>	0,9600
<b>Periodo de Retorno</b>	<b>T</b>	50
<b>Probabilidad</b>	<b>P</b>	0,9800
<b>Periodo de Retorno</b>	<b>T</b>	100
<b>Probabilidad</b>	<b>P</b>	0,9900

Estos periodos de retorno serán extrapolados los datos de precipitación máxima de 24 horas anuales, para tener diferentes curvas IDF y una seguridad de diseño mayor.



### 3.6.1. DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA NORMAL

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} * e^{-\frac{1}{2} \times \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Donde:  $\mu$  y  $\sigma$  son los *parametros de la distribucion* y  $x$  es el valor de la probabilidad o la variable de la función.

Es posible demostrar que  $\mu$  y  $\sigma$  son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la población y pueden estimarse como la media y desviación estándar de los datos. La función de distribución de probabilidad normal es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} * e^{-\frac{1}{2} \times \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Hoy en día, no se conoce analíticamente la integral de la ecuación por lo que es necesario recurrir a métodos numéricos para evaluarla. Sin embargo, para hacer esto se requeriría una tabla para cada valor de  $\mu$  y  $\sigma$ , por lo que se ha definido la variable estandarizada

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

De esta forma despejando el valor de  $x$ :

$$x = (s \times z) + \bar{x}$$

Donde:  $\bar{x}$  = *La media de la muestra*

$s$  = *La desviacion estandar de la muestra*

$z$  = *Valor de la Tabla 1 del Apendice A del Libro de Aparicio Francisco*

Método guiado del Libro de (Aparicio, 1989).

De esta forma se realiza los cálculos estadísticos y se determina las precipitaciones para periodos de retorno establecidos.

### 3.6.2. DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA LOGARÍTMICO NORMAL

En esta función los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \frac{1}{x\beta} \times e^{-\frac{1}{2} \times \left(\frac{\beta_1 - \alpha}{\beta}\right)^2}$$

Donde:  $\alpha$  y  $\beta$  son los *parametros de la distribucion*



Se puede deducir comparando esta ecuación con la ecuación del método Normal que  $\alpha$  y  $\beta$  son respectivamente la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria.

Deduciendo por métodos matemáticos la función de distribución de probabilidad por el método de Logarítmico Normal es:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$$

De esta forma despejando el valor de  $x$  tendríamos:

$$x = e^{z*\beta+\alpha}$$

Donde:  $\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln xi}{n}$

$$\beta = \left( \sum_{i=1}^n \frac{(\ln xi)^2}{n} \right)^2$$

$z =$  Valor de la Tabla 1 del Apéndice A del Libro de Aparicio Francisco

Método guiado del Libro de (Aparicio, 1989).

De esta forma se realiza los cálculos estadísticos y se determina las precipitaciones para periodos de retorno establecidos.

### 3.6.3. DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA LOG PEARSON III

La función de densidad de probabilidad Pearson III se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \times [\Gamma \times (\beta_1)]} \times \left( \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right)^{\beta_1 - 1} \times e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}}$$

Donde:  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$  y  $\delta_1$  son los parámetros de la distribución

$\Gamma \times (\beta_1)$  es la función Gamma

Deduciendo por métodos matemáticos la función de distribución de probabilidad por el método de Log Pearson III es:

$$y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1}$$

De esta forma despejando el valor de  $x$  tendríamos:

$$x = (y \times \alpha_1) + \delta_1$$

Donde:

$$y = (X^2_{(p)} \div 2)$$

$X^2_{(p)} =$  Valor de la Tabla 4 del Apéndice A del Libro de Aparicio Francisco



$$\alpha_1 = \frac{S}{\sqrt{\beta_1}} \rightarrow \beta_1 = \frac{2}{\gamma} \rightarrow S = \text{varianza}$$

$$\delta_1 = \bar{x} - (\alpha_1 \times \beta_1)$$

Método guiado del Libro de (Aparicio, 1989).

De esta forma se realiza los cálculos estadísticos y se determina las precipitaciones para periodos de retorno establecidos.

#### 3.6.4. DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA GUMBEL

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Entonces la función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \alpha \times e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

Donde:  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la distribución

Deduciendo por métodos matemáticos la función de distribución de probabilidad por el método de Gumbel es:

$$x = \beta - \frac{1}{\alpha} \times \ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right)$$

Donde:  $\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

$\sigma_y$  y  $\mu_y$  son valores de la Tabla 9.6 del Libro de Aparicio Francisco

$T =$  periodo de retorno.

Método guiado del Libro de (Aparicio, 1989).

De esta forma se realiza los cálculos estadísticos y se determina las precipitaciones para periodos de retorno establecidos.

Los cálculos se pueden revisar en el Anexo 6, Sección 6.6 Análisis Probabilístico Hidrológico De Las Cuencas Hidrográficas.

Los cálculos del Análisis Probabilístico se pueden revisar en la sección 6.6 Anexo 6. Análisis Probabilístico Hidrológico De Las Cuencas Hidrográficas.



### 3.6.5. RESUMEN DE LOS MÉTODOS PROBABILÍSTICOS DE DISTRIBUCIÓN

Los métodos probabilísticos de distribución antes descritos han generado una precipitación máxima de 24 horas anuales, para diferentes periodos de retorno antes establecidos, estos valores distribuidos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 26. Resultado de los Métodos Probabilísticos de Distribución de la precipitación.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Precipitación mm de Max 24h. Anuales	TR (Periodo de Retorno)				
	5	10	25	50	100
<b>DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD</b>					
<b>Distribución Normal</b>	70,66	78,94	87,79	93,44	98,71
<b>Distribución Logarítmico Normal</b>	66,37	75,07	85,63	93,13	100,73
<b>Distribución Log Pearson III</b>	77,48	94,31	123,42	146,03	165,53
<b>Distribución de Gumbel</b>	70,40	82,65	98,12	109,61	121,00

Los datos antes descritos pueden ser observados en el siguiente gráfico:

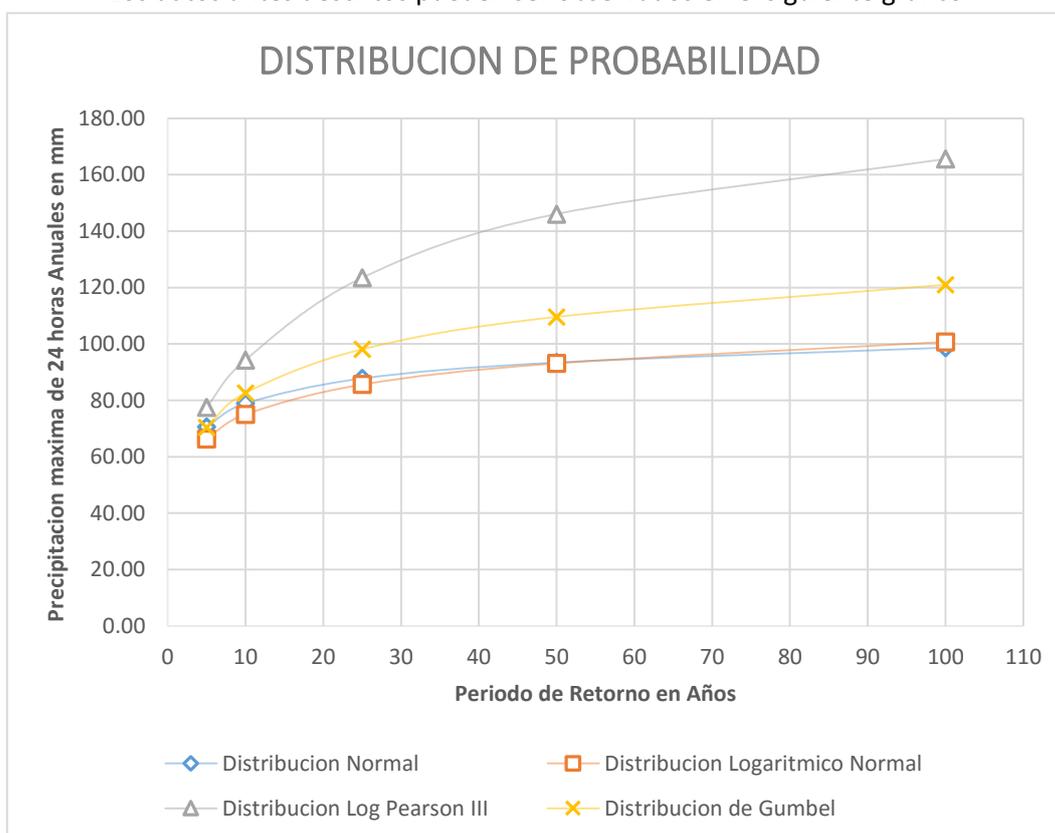


Figura 30. Resultados de la Distribución de Probabilidad de la Precipitación en función del Periodo de Retorno.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Los gráficos expuestos de la probabilidad de distribución se pueden interpretar de la siguiente manera:

- La distribución **Normal** empieza en un valor mediano, para un periodo de retorno de 5 años, en comparación con los otros métodos, y la curva sigue una tendencia positiva



logarítmica, hasta llegar a un valor final de un periodo de retorno de 100 años, una precipitación de 98.71 mm/24 horas, el menor valor final de los métodos empleados.

- La distribución **Logarítmico Normal** empieza la curva con el menor valor de los métodos aplicados con una precipitación de 66.37mm/24h para un periodo de retorno inicial de 5 años, la curva igualmente tiene una tendencia logarítmica positiva hasta llegar a un valor final similar al de la distribución Normal.
- La distribución de **Log Pearson III** tiene un valor inicial mayor de todos los métodos empleados para un periodo de retorno de 5 años, una precipitación de 77.48 mm/24h, de igual manera tiene una tendencia considerablemente logarítmica, en la cual tiene los máximos valores en todos los periodos de retorno si comparamos con los otros métodos utilizados.
- El ultimo método empleado de **Gumbel**, tiene un valor inicial de precipitación de 70.40 mm/24h para un periodo de retorno de 5 años, con una tendencia logarítmica la máxima precipitación para un periodo de retorno de 121.00 mm/24h. Este método según (Aparicio, 1989), Las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de dichos resultados, como los gastos máximos o mínimos anuales, este método se considerará como el indicado para la evaluación hidrológica e hidráulica de la quebrada Huayrapata, esta afirmación la confirmaremos en el siguiente tema.

#### 3.6.6. ANÁLISIS DE ERRORES Y SELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Se observa que la diferencia entre una y otra función puede ser apreciable. En muchos casos las diferencias son mucho mayores que las que resultan aquí. Una selección apresurada de cualquiera de las funciones podría traducirse en una estructura sobre diseñado y costoso o sub diseñada y peligrosa. Por ello, se debe seleccionar la función con cuidado. Enseguida se describen algunos métodos para evitar la simplicidad de la selección.



i. Análisis Grafico

Para el análisis grafico se ha procedido a comprobar el ajuste de los puntos obtenidos en los ejes de precipitación y periodo de retorno, mediante una línea de tendencia Lineal y Logarítmica, este coeficiente R cuadrado antes utilizado no servirá para comprobar el ajuste de la línea de tendencia.

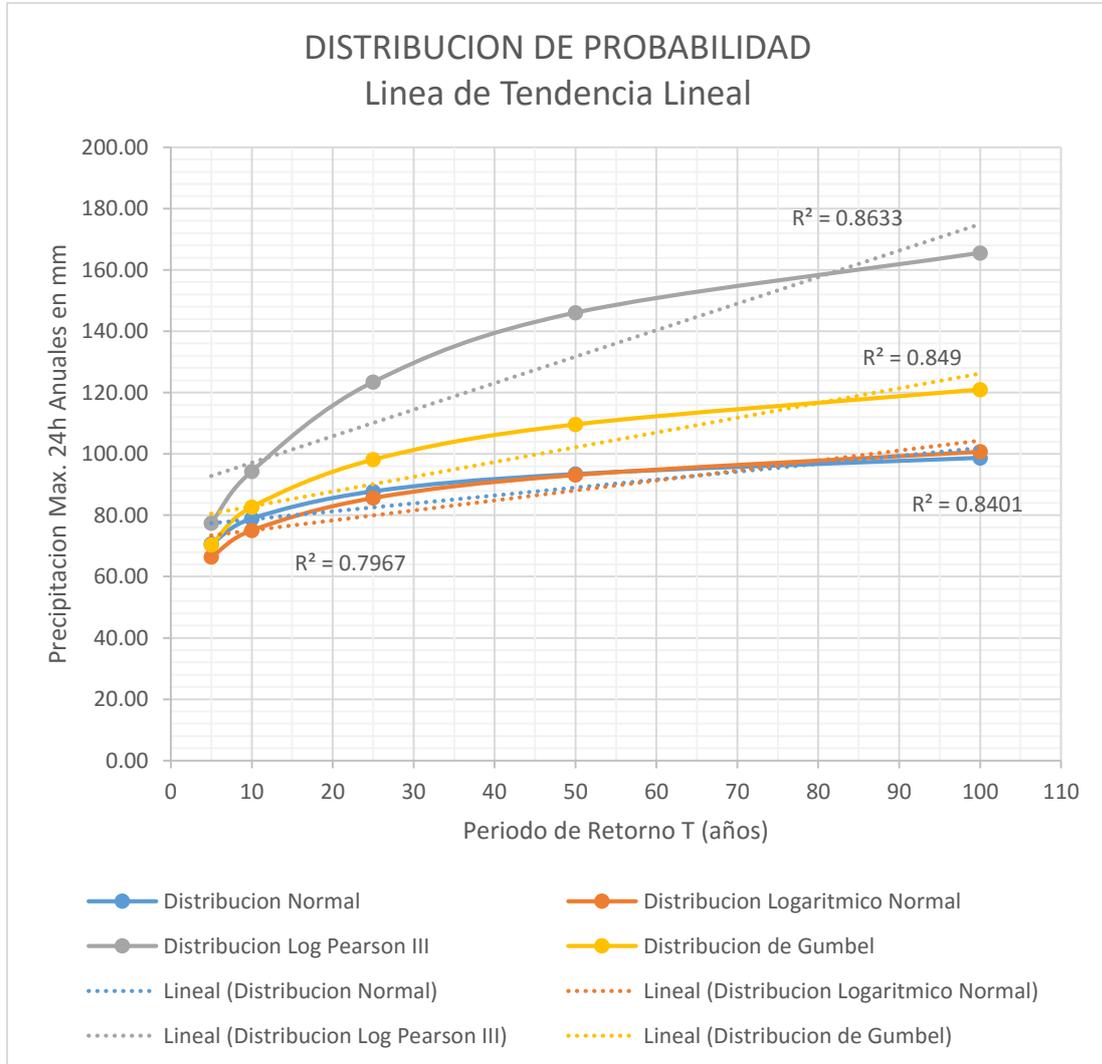


Figura 31. Análisis de la Distribución de Probabilidad mediante la línea de Tendencia Lineal.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

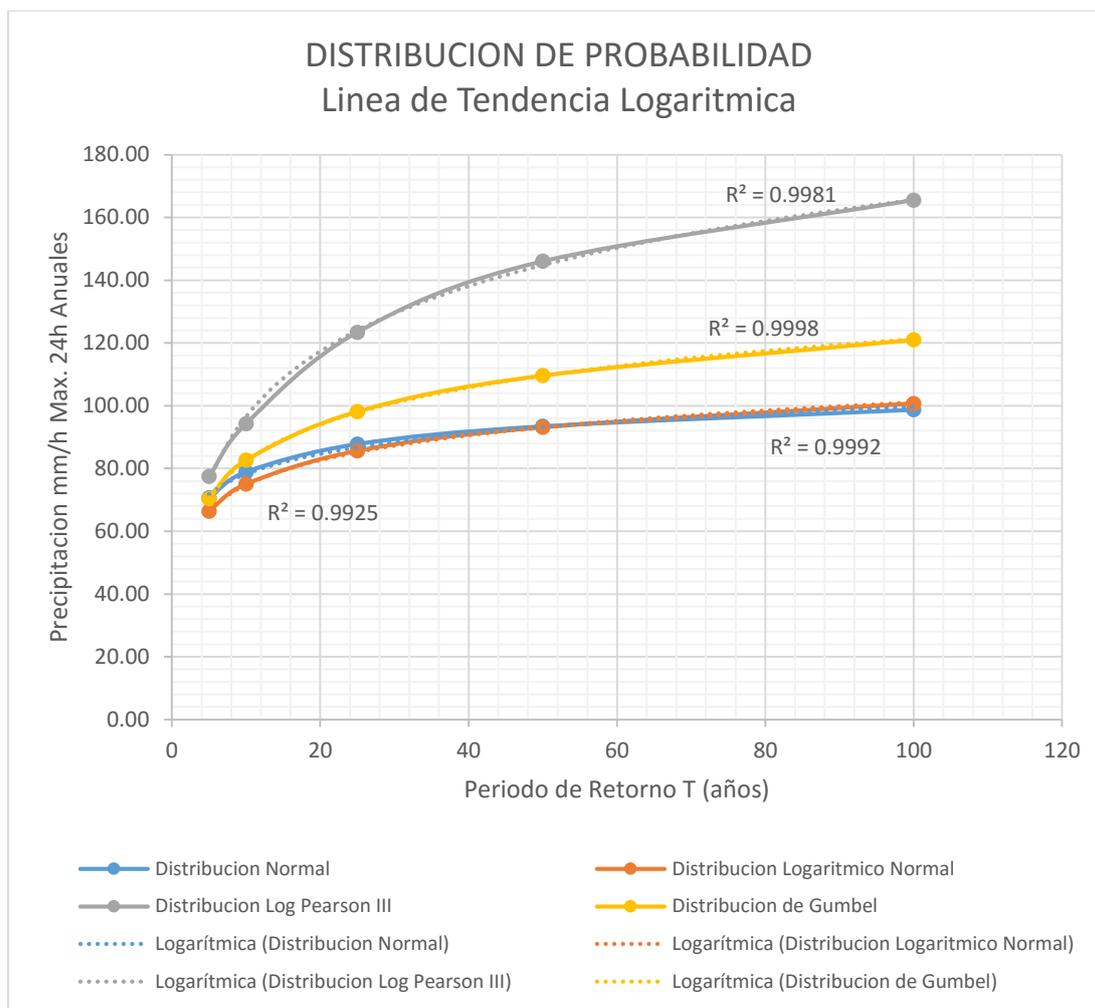


Figura 32. Análisis de la Distribución de Probabilidad mediante la línea de Tendencia Logaritmica.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Los gráficos anteriormente observados se pueden resumir en la siguiente Tabla:

Tabla 27. Resultado de los Análisis de Distribución de Probabilidad mediante el Método de R cuadrado.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Análisis Grafico		
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD	R <sup>2</sup> Lineal	R <sup>2</sup> Logaritmica
<b>Distribución Normal</b>	0,7967	0,9925
<b>Distribución Logaritmico Normal</b>	0,8401	0,9992
<b>Distribución Log Pearson III</b>	0,8633	0,9981
<b>Distribución de Gumbel</b>	0,8490	0,9998

Los valores del coeficiente R cuadrado, si se acercan a la unidad se dice que tiene un ajuste perfecto a la función de la línea de tendencia, entonces se observa que las curvas son logarítmicas. Teniendo en cuenta ese criterio se observan que los métodos empleados tienen un mejor ajuste el método de **Log Pearson III** para una línea de tendencia lineal, y para la línea de tendencia logarítmica el método que más se ajusta es el de **Gumbel**.



ii. **Calculo del Error Cuadrático Mínimo - Ecuaciones Lineal y Logarítmica**

Para determinar el error cuadrático mínimo consiste en calcular, para cada función de distribución, el error cuadrático con la siguiente función: (Aparicio, 1989)

$$C = \left[ \sum_{i=1}^n (x_{ei} - x_{oi})^2 \right]^{1/2}$$

Donde:  $x_{ei}$  = es el  $i$  – esimo dato estimado con la linea de tendencia.

$x_{oi}$  = es el  $i$  – esimo dato calculado, con la funcion de distribucion bajo analisis.

$C$  = es el Error Cuadratico Minimo, cuando al ser menor considera un ajuste perfecto.

Entonces se realiza el cálculo de C para las distribuciones de probabilidades empleadas en el tema anterior.

Tabla 28. Tablas de Resultado del Error Cuadrático Mínimo - Ecuación Lineal.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Análisis Método del Error Cuadrático Mínimo - Ecuación Lineal</b>						
Distribución Normal				Ecuación L	y= 0,2584*x+76,089	
TR	5	10	25	50	100	C
Dist. Normal (Xoi)	70,66	78,94	87,79	93,44	98,71	
Ecu. Lineal (Xei)	77,381	77,381	77,381	77,381	77,381	
(Xei - Xoi) ^2	45,215	2,435	108,373	257,892	455,020	<b>29,48</b>

Distribución Logarítmico Normal				Ecuación L	y= 0,3246x+71,849	
TR	5	10	25	50	100	C
Dist. Log N (Xoi)	66,37	75,07	85,63	93,13	100,73	
Ecu. Lineal (Xei)	73,472	75,095	79,964	88,079	104,309	
(Xei - Xoi) ^2	50,481	0,001	32,069	25,516	12,841	<b>11,00</b>

Distribución Log Pearson III				Ecuación L	y= 0,8645*x+88,501	
TR	5	10	25	50	100	C
Dist. L. P. III (Xoi)	77,48	94,31	123,42	146,03	165,53	
Ecuación (Xei)	92,8235	97,146	110,1135	131,726	174,951	
(Xei - Xoi) ^2	235,473	8,024	176,950	204,516	88,839	<b>26,72</b>

Distribución de Gumbel				Ecuación	y = 0,4817x + 78,052	
TR	5	10	25	50	100	C



<b>Dist. Gumbel (Xoi)</b>	70,40	82,65	98,12	109,61	121,00	
<b>Ecuación (Xei)</b>	80,4605	82,869	90,0945	102,137	126,222	
<b>(Xei - Xoi) ^2</b>	101,239	0,049	64,470	55,771	27,253	<b>15,77</b>

Como se puede observar en el Análisis del Error Cuadrático Mínimo a través de una comparación de los datos estimados con una línea de tendencia que obedece a una ecuación lineal, el que tiene menos error es la Distribución Probabilística **Logarítmico Normal** con un valor de C=11,00 pero se debe observar que el valor del Error Cuadrático de la Distribución Probabilística de **Gumbel** es un poco mayor C=15,77, mientras que los otros métodos superan con más del doble de error.

Tabla 29. Tablas de Resultado del Error Cuadrático Mínimo - Ecuación Logarítmica.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Análisis Método del Error Cuadrático Mínimo - Ecuación Logarítmica</b>						
Distribución Normal				<b>Ecuación</b>	<b>y = 9,3055ln(x) + 56,786</b>	
TR	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>C</b>
<b>Dist. Normal (Xoi)</b>	70,66	78,94	87,79	93,44	98,71	
<b>Ecu. Lineal (Xei)</b>	71,762	78,212	86,739	93,189	99,639	
<b>(Xei - Xoi) ^2</b>	1,223	0,531	1,106	0,062	0,859	<b>1,95</b>

Distribución Logarítmico Normal				<b>Ecuación</b>	<b>y = 11,422ln(x) + 48,437</b>	
TR	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>C</b>
<b>Dist. Log N (Xoi)</b>	66,367	75,068	85,627	93,130	100,726	
<b>Ecu. Lineal (Xei)</b>	66,820	74,737	85,203	93,120	101,037	
<b>(Xei - Xoi) ^2</b>	0,205	0,110	0,180	0,000	0,097	<b>0,769</b>

Distribución Log Pearson III				<b>Ecuación</b>	<b>y = 29,993ln(x) + 27,486</b>	
TR	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>C</b>
<b>Dist. L. P. III (Xoi)</b>	77,478	94,313	123,416	146,027	165,526	
<b>Ecuación (Xei)</b>	75,758	96,547	124,030	144,819	165,609	
<b>(Xei - Xoi) ^2</b>	2,960	4,992	0,377	1,458	0,007	<b>3,130</b>

Distribución de Gumbel				<b>Ecuación</b>	<b>y = 16,865ln(x) + 43,575</b>	
TR	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>C</b>
<b>Dist. Gumbel (Xoi)</b>	70,399	82,647	98,124	109,605	121,002	
<b>Ecuación (Xei)</b>	70,718	82,408	97,861	109,551	121,241	
<b>(Xei - Xoi) ^2</b>	0,102	0,057	0,069	0,003	0,057	<b>0,537</b>



Como se puede observar en el Análisis del Error Cuadrático Mínimo a través de una comparación de los datos estimados con una línea de tendencia que obedece a una ecuación Logarítmica, el que tiene menos error es la Distribución Probabilística de **Gumbel** con un valor de 0,54 pero se debe observar que el valor del Error Cuadrático de la Distribución **Logarítmico Normal** es un poco mayor  $C= 0,54$ .

Se ha seleccionado que la Distribución de Probabilidad que menor Error tiene y que más se ajusta para tener un diseño de un proyecto no muy sobredimensionado o en caso contrario pueda colapsar el proyecto, la Distribución de **Gumbel**, por las razones de cálculo antes descritas.

Para la generación de las curvas Intensidad Duración y Frecuencia, se tomarán los valores de las precipitaciones máximas de 24 horas anuales para los periodos de retorno especificados.



### 3.7. DETERMINACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA

El diseño y construcción de obras de drenaje, sistemas de canalización urbano y rural, se va convirtiendo en un problema de ingeniería cada vez más complejo de solucionarlo, debido a varios factores: la expansión de las ciudades y poblaciones las cuales sin un control urbano crean asentamientos a márgenes de los cauces hidrológicos, el aumento de industrias y por consiguiente el incremento de materias residuales, el progresivo asfaltado de calles y carreteras que disminuyen constantemente la capacidad de infiltración del suelo, aumentando por consiguiente el volumen de escurrimiento superficial de las precipitaciones que deben ser evacuadas por sistemas de drenajes convenientemente concebidos. (INAMHI, 1999)

Para la utilización práctica de los datos de lluvias en los diferentes campos de la ingeniería, es necesario conocer la estrecha relación existente entre las cuatro características fundamentales de las precipitaciones: intensidad, duración, frecuencia y distribución. (INAMHI, 1999)

#### Variación de la Intensidad con la Duración

Los datos sobre intensidad de precipitación son obtenidos de los registros pluviográficos denominados pluviogramas o diagramas de precipitación acumulada a lo largo del tiempo, correspondiendo a 24 horas de registro continuo y a una altura equivalente a 10 mm de precipitación, en caso de no obtenerse los diagramas de precipitación, se puede obtener los datos con el pluviógrafo la precipitación del día observado.

De estos gráficos se puede establecer para diversas duraciones, las intensidades máximas ocurridas durante una lluvia dada, sin que necesariamente las duraciones mayores deban incluir a las menores, las duraciones usuales son de: 5, 10, 15 y 30 minutos y 1, 2, 6, 12 y 24h00. Los límites de duración están fijados en 5 minutos y 24 horas, ya que 5 minutos representa el menor intervalo que se puede leer en los registros pluviográficos, con precisión adecuada y, 24 horas porque para duraciones mayores pueden ser utilizados datos observados en los pluviómetros. (INAMHI, 1999)

#### Variación de la Intensidad con la Frecuencia

En los estudios hidrológicos en general, interesa no solamente el conocimiento de las máximas precipitaciones observadas en las series históricas sino principalmente prever con base en los datos observados y valiéndose del principio de probabilidades cuáles serán las máximas precipitaciones que pueden ocurrir en cierta localidad con determinada frecuencia. (INAMHI, 1999)

Las series de máximas intensidades pluviométricas observadas, pueden estar constituidas por los valores más altos observados en cada año (series anuales) o, por n mayores registrados en el período total de observación (series parciales), siendo n el número de años del período considerado. Las series anuales tienen como término de distribución en el tiempo al año, en tanto que las series parciales tienen como término de distribución la magnitud de los valores extremos. Cuando nos interesa principalmente analizar los valores de intensidad extremas, se eligen las series máximas anuales, esto es, para una duración dada se escoge la máxima intensidad observada en cada año hidrológico; las series anuales se revelan poco significativas, por tanto, son definidas en términos de ocurrencia en vez de su magnitud. (INAMHI, 1999)



### 3.7.1. Estudio de Intensidades

Para el estudio de las intensidades, luego de haber obtenido las precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno, cabe determinar la influencia de la duración de la precipitación, debido a la falta de los diagramas de precipitación se ha empleado unos métodos para determinar el factor de la duración y complementar las curvas IDF.

#### Datos de Precipitación Máxima de 24 horas Anuales.

Tabla 30. Análisis Probabilísticos de Distribución de la precipitación – Método seleccionado de Gumbel.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Precipitación Max 24h Anuales en mm	TR (Periodo de Retorno)				
	<b>DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD</b>	5	10	25	50
<b>Distribución de Gumbel</b>	<b>70,40</b>	<b>82,65</b>	<b>98,12</b>	<b>109,61</b>	<b>121,00</b>

#### i. Método de Grunsky

El método de Grunsky, utilizado para la obtención de la precipitación menores a 24 horas, mediante una relación entre la precipitación máxima de 24 horas para un periodo de retorno y la duración de la precipitación.

El método de Grunsky son parábolas que presentan una tendencia sin saltos ya que dependen solo de una ecuación, el cual es un método alternativo a la carencia de pluviogramas para convertir las lluvias diarias máximas en intensidades máximas.

La ecuación que propone Grunsky se expresa:

$$I_t^T = I_{24}^T \times \sqrt{\frac{24}{t}}$$

Donde:  $I_t^T =$  Intensidad de precipitación para un tiempo  $t$

$I_{24}^T =$  Intensidad máxima en 24 horas para un Periodo de Retorno  $T$

$t =$  duración considerada de la lluvia

Aplicando la Ecuación de Grunsky obtenemos los resultados para duraciones de precipitaciones dadas.



Tabla 31. Resultados de las Curvas IDF - Método Grunsky.

Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

METODO GRUNSKY											
Precipitación de minutos Especificados en mm											
Precipitación Dist. Max 24h Anuales	T	15	30	60	90	120	240	360	480	720	
Distribución de Gumbel	70,40	5	28,740	20,322	14,370	11,733	10,161	7,185	5,867	5,081	4,148
	82,65	10	33,741	23,858	16,870	13,775	11,929	8,435	6,887	5,965	4,870
	98,12	25	40,059	28,326	20,029	16,354	14,163	10,015	8,177	7,081	5,782
	109,61	50	44,746	31,640	22,373	18,268	15,820	11,187	9,134	7,910	6,459
	121,0	100	49,399	34,930	24,699	20,167	17,465	12,350	10,083	8,733	7,130

Los datos calculados se reflejan en el siguiente gráfico:

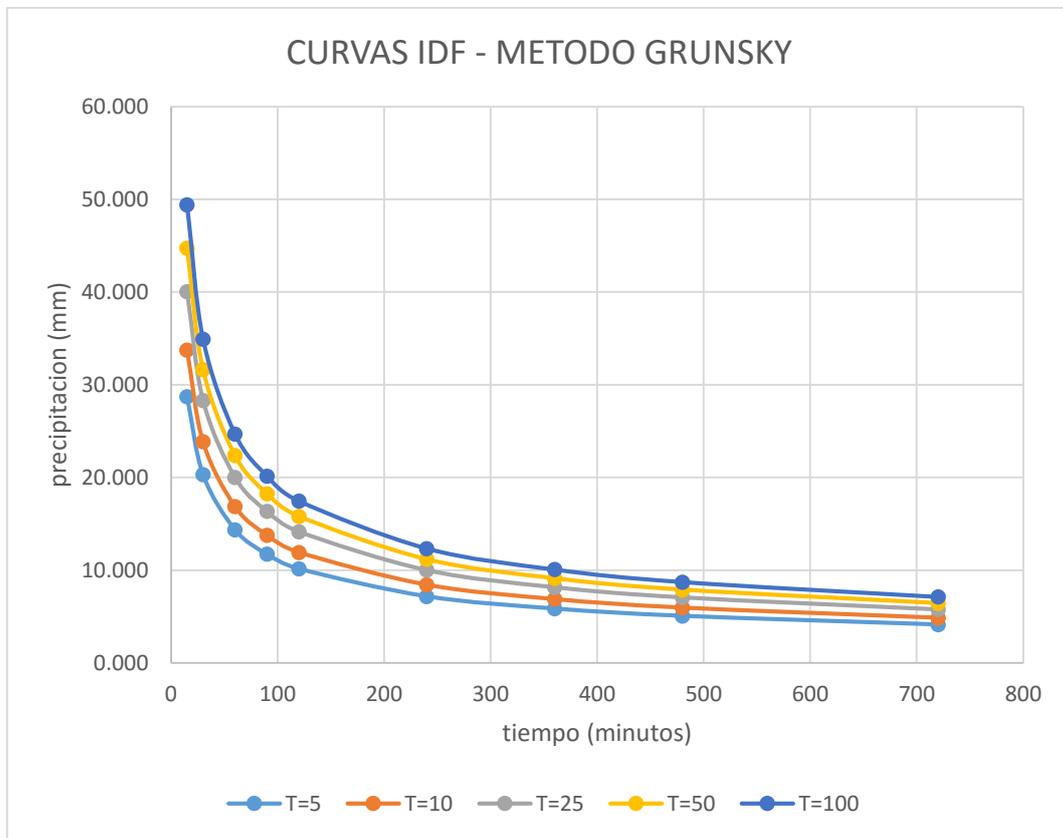


Figura 33. Curvas IDF generados con el Método de Grunsky.

Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.



## ii. Método de Elías y Ruiz

El Método de Elías y Ruiz es un método empírico, utilizado en España trata de pasar los valores de intensidad de un periodo de retorno determinado a uno del mismo periodo de retorno, pero de duraciones menores. Las relaciones propuestas por los hidrólogos son:

$$I_{24} = 0.6 \times I_{12}$$

$$I_{12} = 0.8 \times I_6$$

$$I_6 = 0.6 \times I_1$$

Donde:  $I_t$  = Es la precipitación máxima horaria para una duración de  $t$  horas

Aplicando las relaciones entre las duraciones de lluvia se ha podido determinar los siguientes valores, para duraciones de 1, 6 y 12 horas.

Tabla 32. Resultados de las Curvas IDF - Método Elías y Ruiz.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

METODO ELIAS Y RUIZ					
		Precipitación minutos en mm			
Precipitación Max 24h Anuales	T	60	360	720	
Distribución de Gumbel	70,399	5	27,190	8,429	4,889
	82,64748	10	31,921	9,896	5,739
	98,12383	25	37,899	11,749	6,814
	109,6051	50	42,333	13,123	7,611
	121,0015	100	46,735	14,488	8,403



Los datos en la tabla se pueden plasmar en las curvas IDF las cuales se muestran:

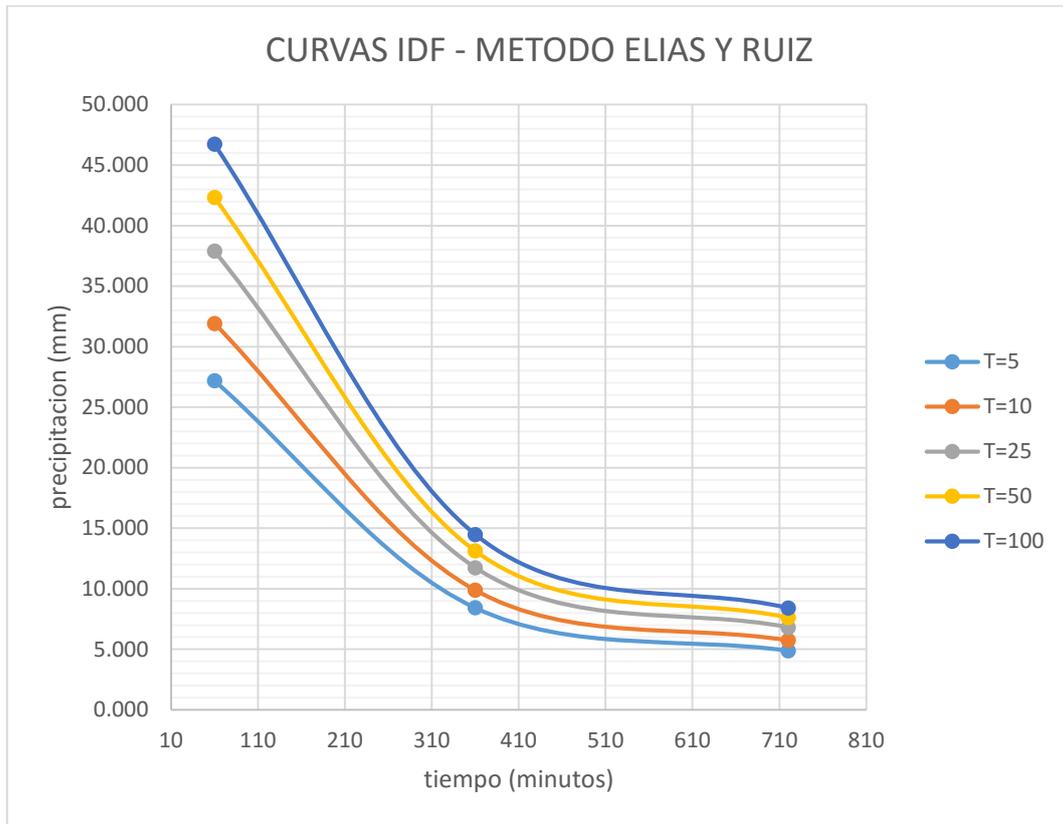


Figura 34. Curvas IDF generados con el Método de Elías y Ruiz.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



### iii. Método propuesto por el INAMHI en el Estudio de Lluvias Intensas

El instituto de Meteorología e Hidrología a través del libro, Estudio de Lluvias Intensas (INAMHI, 1999), propone la zonificación de intensidades en la que realizó un estudio comparativo de los datos de intensidades obtenidos de algunos pluviógrafos y pluviómetros en el país.

La metodología seguida para la zonificación de las intensidades de lluvia que se siguió en el libro del INAMHI fue la siguiente: Se realizó un estudio comparativo de los datos de intensidades obtenidos de los pluviógrafos y pluviómetros de 178 estaciones meteorológicas representativas del país, determinándose una correspondencia entre los valores de intensidades de lluvias extraordinarias y de las precipitaciones máximas en 24 horas, con la finalidad de que si conocemos este último valor en cualquier lugar del país, se obtenga la intensidad correspondiente para el diseño de una obra hidráulica con la ecuación determinada para la zona. (INAMHI, 2010)

Para la extrapolación de lluvias intensas se ha elegido como valor de referencia la intensidad diaria  $I_d = P_d/24$ , puesto que éste dato es el más fácilmente conocible en la generalidad de los casos. La ley adimensional es:  $I/I_d = f(D)$ , siendo  $D$  la duración de la lluvia, ésta ley es característica de cada estación y función de la distribución temporal de sus torrenciales tipo, cuya variación no es considerable en el caso de estaciones ubicadas en zonas con características climáticas homogéneas y por tanto, el cociente  $I/I_d$  varía dentro de límites muy pequeños (5 a 10%) y es muy probable que ésta variación sea mínima si la curva de lluvias torrenciales estuviera determinado con un mayor número de años de observación. (INAMHI, 1999)

Conocido la determinación de las ecuaciones para las estaciones meteorológicas ubicadas en el país, se describe dicha ecuación determinada por el INAMHI para la **Gualaceo-M139**:

Tabla 33. Ecuaciones para generación de Curvas IDF propuestos por el INAMHI.

Fuente: (INAMHI – Estudio de Lluvias Intensas, 1999).

Elaboración: Autor.

CODIGO	ESTACION	DURACION	ECUACIÓN
M139	GUALACEO	5 min < t < 35 min	$I_{TR} = 147.98 \times t^{-0.4279} \times I_{d_{TR}}$
		35 min < t < 1440 min	$I_{TR} = 882.9 \times t^{-0.9351} \times I_{d_{TR}}$

**Donde:**  $I_{TR}$  = Intensidad para un periodo de retorno dado, de un tiempo  $t$

$t$  = El tiempo para la duración de la intensidad a determinar

$I_{d_{TR}}$  = La intensidad diaria para un periodo de retorno conocido

Estas ecuaciones se pueden reflejar que provienen de la gráfica realizada por el INAMHI las cuales determinaron como se indica en párrafos anteriores: (INAMHI, 1999, pág. 64)

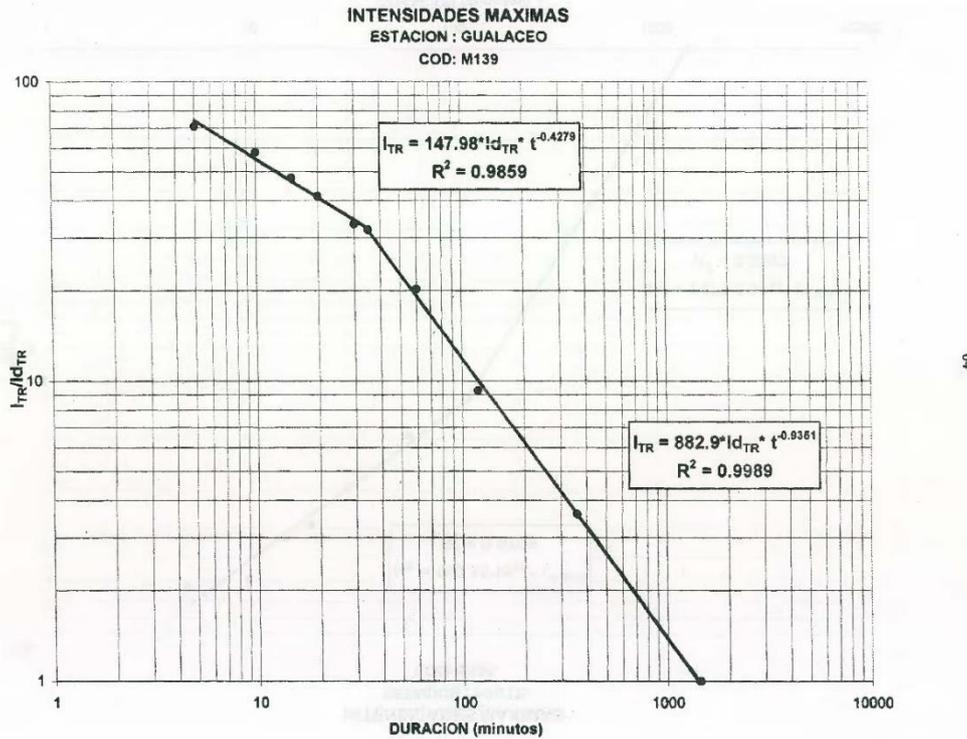


Figura 35. Ecuaciones de Intensidades Máximas del INAMHI de la Estación: Gualaceo M139.

Fuente: (INAMHI – Estudio de Lluvias Intensas, 1999).

Elaboración: (INAMHI – Estudio de Lluvias Intensas, 1999).

Finalmente, al aplicar las ecuaciones en la Tabla 32 se obtuvieron los siguientes resultados de precipitaciones para distintos tiempos de duración:

Tabla 34. Resultados de las Curvas IDF - Método Ecuaciones del INAMHI.

Fuente: INAMHI.

Elaboración: Autor.

ECUACIONES DEL INAMHI - ESTACION M139 GUALACEO											
Precipitación de minutos Especificados (mm)											
Precipitación Max 24h Anuales		T	15	30	60	90	120	240	360	480	720
Distribución de Gumbel	70,399	5	136,24	101,27	56,30	38,53	29,45	15,40	10,54	8,05	5,51
	82,64748	10	159,95	118,89	66,10	45,24	34,57	18,08	12,37	9,46	6,47
	98,12383	25	189,90	141,16	78,47	53,71	41,04	21,47	14,69	11,23	7,68
	109,6051	50	212,12	157,67	87,66	60,00	45,84	23,98	16,41	12,54	8,58
	121,0015	100	234,17	174,07	96,77	66,23	50,61	26,47	18,12	13,84	9,48

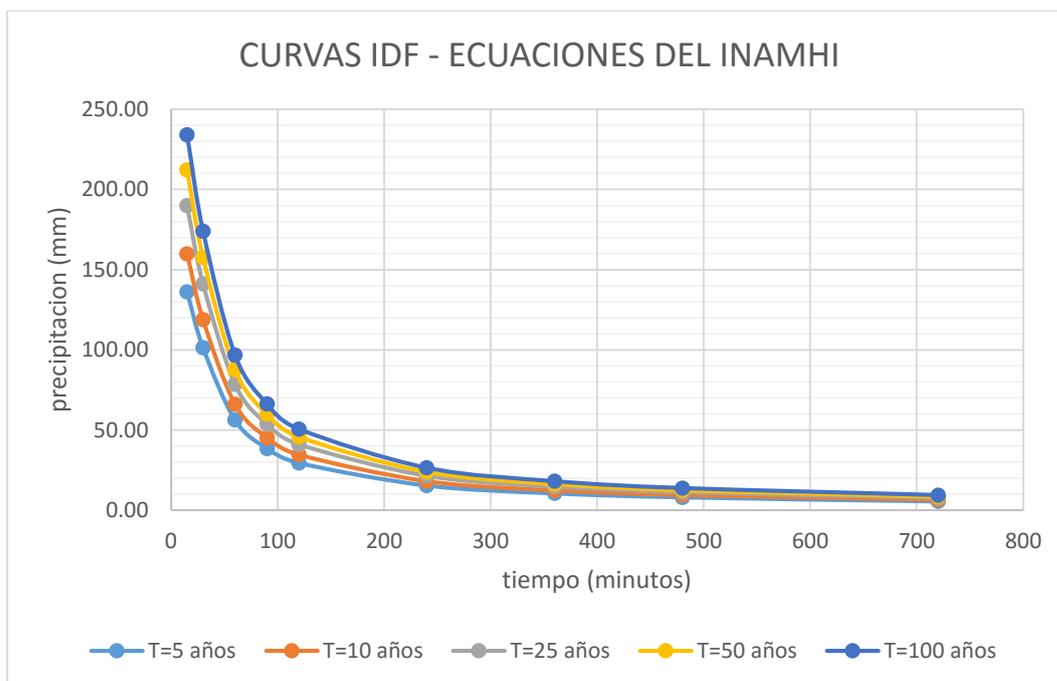


Figura 36. Curvas IDF generados con las Ecuaciones del INAMHI.

Fuente: INAMHI.

Elaboración: Autor.

Luego de haber obtenido las Curvas IDF por varios métodos se procede a elegir, que método de interpolación usado para la obtención de precipitaciones máximas de 24 horas se deberá escoger para la generación de caudales.

Luego de revisar las precipitaciones y compararlas entre los dos métodos empleados, el de Grunsky y las Ecuaciones propuestas por el INAMHI en el “*Estudio de Lluvias Intensas*” se ha observado que las Ecuaciones del INAMHI las precipitaciones para duraciones menores tienden a valores de mayor intensidad, mientras tanto que en el método de Grunsky su tendencia hacia duraciones menores la precipitación se mantiene en un rango de crecimiento menor.

#### iv. Análisis de Resultados

Se ha comprobado el coeficiente de correlación o R cuadrado y se ha obtenido los siguientes resultados.

Tabla 35. Análisis de Resultados de las Curvas IDF.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Método para Determinar las Curvas IDF	Coefficiente R cuadrado
Método Grunsky	57%
Ecuaciones del INAMHI - Estación M139-Gualaceo	51%
Método de Elías y Ruiz	55%

Dados los parámetros evaluados se ha escogido el método de generación de precipitación menores a 24 horas en periodos de retorno conocidos es el propuesto por **Grunsky**.



### 3.8. GENERACION DE CAUDALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

#### 3.8.1. ELABORACIÓN DEL HIETOGRAMA DE DISEÑO

Para la elaboración del hietograma se ha utilizado el método de bloques alternos ya que los datos que tenemos son las precipitaciones máximas diarias y estas las hemos procesado a las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF).

Para la aplicación del método de bloques alternos para desarrollar un hietograma de diseño se utiliza únicamente una curva IDF. El hietograma de diseño especifica la lámina de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración (t) sobre una duración total (T).

Tabla 36. Ejemplo del Método de Bloque Alterno para generar Hietogramas – Periodo de retorno de 5 años.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Periodo de Retorno de 5 Años				
Tiempo (m)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Variación Precipitación	Precipitación Ordenada
5	49.7794	4.1483	4.1483	1.7183
10	35.1994	5.8666	1.7183	3.7151
15	28.7402	7.1850	5.4668	4.4729
20	24.8897	8.2966	2.8298	5.4668
25	22.2620	9.2758	6.4460	6.4460
30	20.3224	10.1612	3.7151	7.9719
35	18.8148	10.9753	7.2602	8.6122
40	17.5997	11.7331	4.4729	7.2602
45	16.5931	12.4449	7.9719	5.7579
50	15.7416	13.1180	5.1461	5.1461
55	15.0091	13.7583	8.6122	4.1483
60	14.3701	14.3701	5.7579	2.8298

En la Tabla anterior se da un ejemplo del método del Bloque Alterno en el cual la intensidad tomada de las curvas IDF producto del [Método de Grunsky](#) se multiplica por el tiempo, dando así una precipitación en mm en el cual se determina la variación entre el intervalo y luego se ordena de menor a mayor. Para dibujar el hietograma se colocará desde valores inferiores desde los extremos hacia el centro con el mayor valor. Los cálculos se pueden analizar en el *Anexo 8. Elaboración del Hietograma de Diseño para Diferentes Periodos de Retorno.*

Los Hietogramas de los diferentes periodos de retorno, determinados de la misma manera se detallan en los siguientes gráficos:

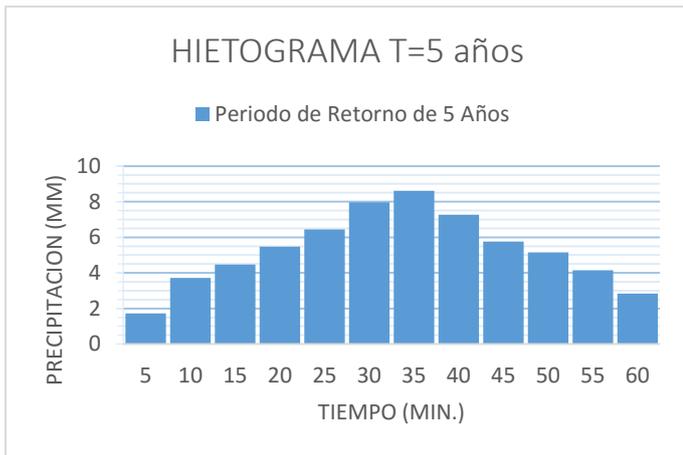


Figura 40. Hietograma de Diseño Período de Retorno 5 años.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

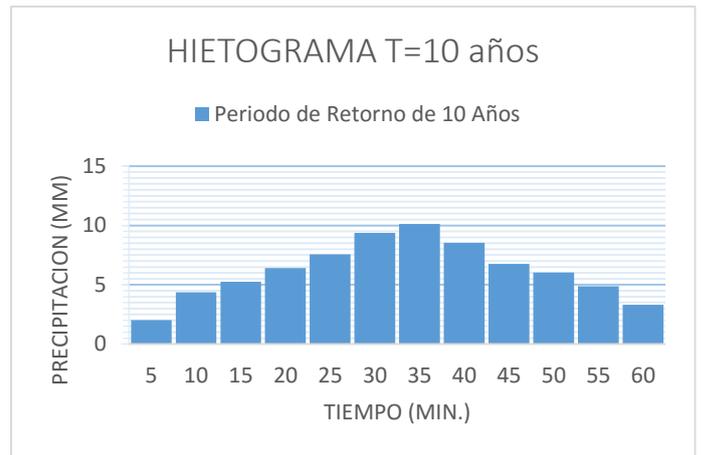


Figura 39. Hietograma de Diseño Período de Retorno 10 años.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

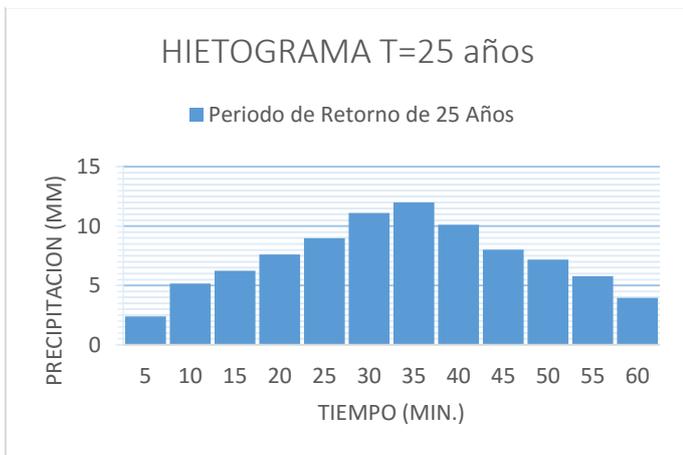


Figura 38. Hietograma de Diseño Período de Retorno 25 años.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

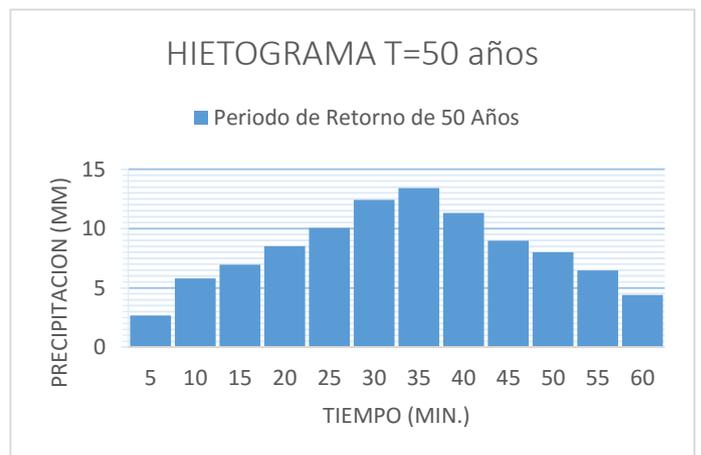


Figura 37. Hietograma de Diseño Período de Retorno 50 años.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

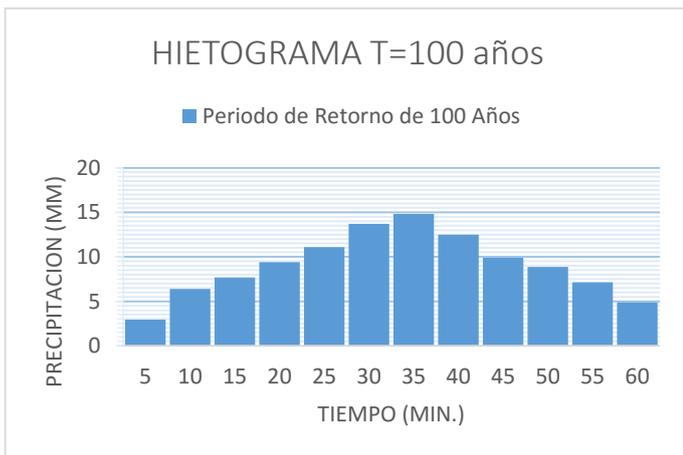


Figura 41. Hietograma de Diseño Período de Retorno 100 años.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.



## 3.8.2. DETERMINACION DE LAS ABSTRACCIONES POR EL METODO DE LA SCS

Como se explicó en el punto [3.4.3 Determinación Del Numero De Curva](#) las abstracciones se han calculado para el numero de curva de cada cuenca hidrográfica.

Tabla 37. Resultado de la Abstracción de la Cuenca de la Quebrada Huayrapata.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Numero De Curva de la Cuenca de Aportación de la Quebrada Huayrapata</b>			
<b>Cuenca</b>	<b>Área Ha</b>	<b>Condición Hidrológica</b>	<b>Valor</b>
<b>Huayrapata CN</b>	54.59	Condición III	89.64
<b>retención potencial máxima = S (mm)</b>		Condición III	29.366
<b>abstracción = Ia (mm)</b>		Condición III	5.873

Tabla 38. Resultado de la Abstracción de la Cuenca de la Quebrada Ishcay.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Numero De Curva de la Cuenca de Aportación de la Quebrada Ishcay</b>			
<b>Cuenca</b>	<b>Área Ha</b>	<b>Condición Hidrológica</b>	<b>Valor</b>
<b>Ishcay CN</b>	205.82	Condición III	89.74
<b>retención potencial máxima = S (mm)</b>		Condición III	29.036
<b>abstracción = Ia (mm)</b>		Condición III	5.807

Tabla 39. Resultado de la Abstracción de la Cuenca de la Quebrada Picay.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Numero De Curva de la Cuenca de Aportación de la Quebrada Picay</b>			
<b>Cuenca</b>	<b>Área Ha</b>	<b>Condición Hidrológica</b>	<b>Valor</b>
<b>Picay CN</b>	316.97	Condición III	90.26
<b>retención potencial máxima = S (mm)</b>		Condición III	27.409
<b>abstracción = Ia (mm)</b>		Condición III	5.482



### 3.8.3. ESCORRENTIA EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS

Como escorrentía conocemos a la parte de la precipitación que llega a la red hidrográfica de la cuenca y fluye por la cuenca, dando lugar a los caudales líquidos.

El flujo en una cuenca en este caso las quebradas de la ciudad de Gualaceo está controlado primordialmente por variaciones en la precipitación. Las relaciones entre precipitación y escorrentía se aplicarán por el método de la SCS en el software de HEC-HMS.

El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, tales como la infiltración caso, hidrogramas unitarios, y el enrutamiento hidrológico. HEC-HMS también incluye procedimientos necesarios para la simulación continua incluyendo la evapotranspiración, la fusión de la nieve, y la contabilidad de la humedad del suelo. (Hydrologic Engineering Center, 1964)

La lluvia que cae durante al inicio de una tormenta, queda depositada en la capa vegetal como interceptación y en las depresiones del terreno como almacenamiento superficial. Mientras sucede la tormenta, la superficie del suelo se cubre de una capa delgada de agua conocida como detención superficial, y el flujo producido por la precipitación comienza pendiente abajo hacia una cuenca superficial ya establecida. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1977)

Los métodos para estimar la escorrentía como un porcentaje fijo de la precipitación es el procedimiento comúnmente usado en el diseño de sistemas urbanos de drenaje de aguas lluvias y otros estudios, pero este método no es efectivo debido a que la superficie del suelo no es completamente uniforme, impermeable y regular. Para esto se empleará el software de HEC-HMS debido a que los cálculos utilizados en la simulación serían imposibles de realizar a mano, debido a la cantidad de detalles requeridos para las operaciones.

### 3.8.4. MODELACION DE CAUDALES EN HEC-HMS

El método para la transformación de precipitación a escorrentía se aplicará mediante el modelo de la SCS el cual tiene el siguiente procedimiento en la aplicación de HEC-HMS. (Sanchez San Roman, 2015)

- A. Vegetación, Superficie y Perdida. Separación de lluvia neta, calcula que parte de la precipitación caída va a generar escorrentía directa.
  - a. Vegetación: Parte de la precipitación será retenida en las hojas a evaporarse.
  - b. Superficie: Precipitación que quedara retenida en pequeñas retenciones superficiales, para infiltrarse o evaporarse después.
  - c. Perdida: es la precipitación que se infiltra, se utilizara el método de perdidas SCS mediante el número de curva.
- B. Transformación. Calcula la escorrentía directa producida por esa precipitación neta.
  - a. Para la transformación se aplicará el método del hidrograma unitario de la SCS.
- C. Flujo base. Suma a la escorrentía directa la escorrentía base, si existía previamente.
- D. Tránsito. Calcula el tránsito de flujo de cómo evoluciona un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce.



Los componentes ingresados al software son los siguientes:

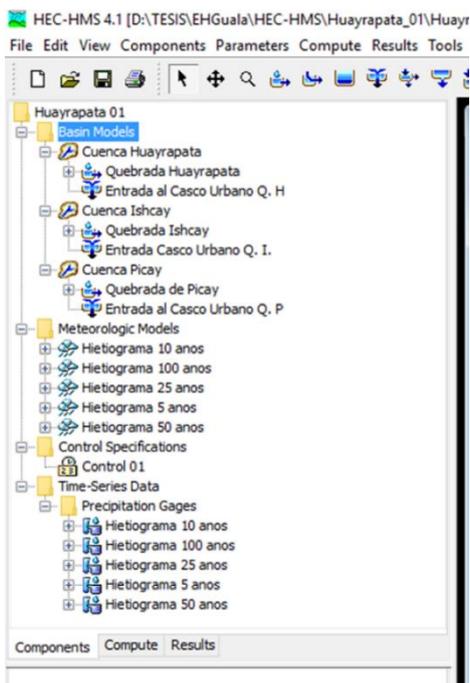


Figura 42. Componentes ingresados en HEC-HMS de las Cuencas hidrográficas de Gualaceo.

Fuente: Software HEC-HMS.

Elaboración: Autor.



### 3.8.4.1. Cuenca Hidrográfica de la quebrada Huayrapata.

En la cuenca Huayrapata se ha ingresado los siguientes Datos:

- Modelos de la Cuenca
  - Área= 0.546 Km<sup>2</sup>
  - Loss (perdida) Método= SCS Numero de Curva
    - Abstracción Inicial= 5.783 mm
    - Numero de Curva= 89.64
    - Impermeabilidad= 1%
  - Transform(transformación) Método = SCS Hidrograma Unitario
    - Tipo de Grafico= Standard (PRF 484)
    - Tiempo de Retraso= 12.452 min

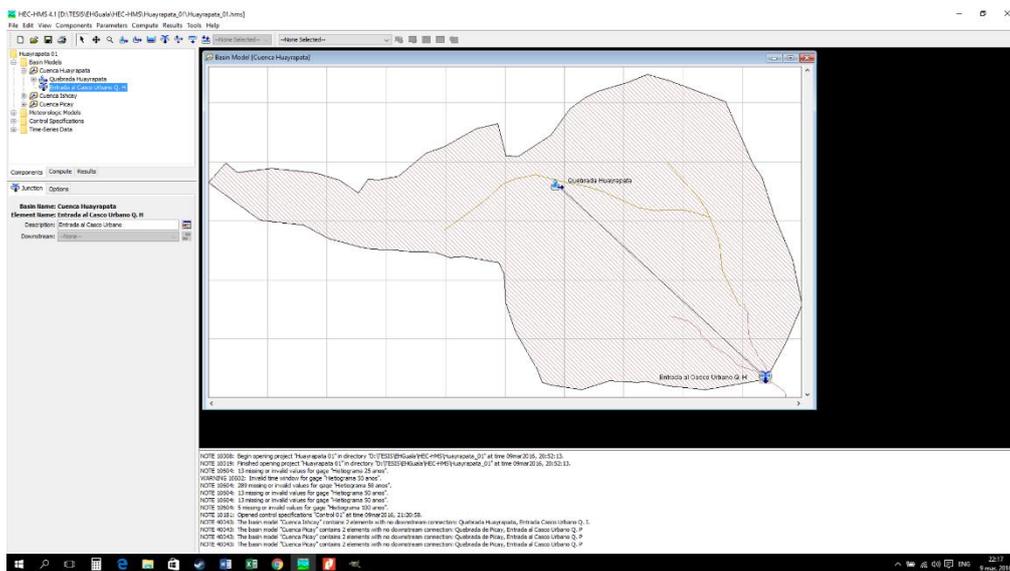


Figura 43. Cuenca Huayrapata ingresada en HEC-HMS.

Fuente: Software HEC-HMS.

Elaboración: Autor.

Los caudales generados para 5 periodos de retorno diferentes se describen en la siguiente figura.

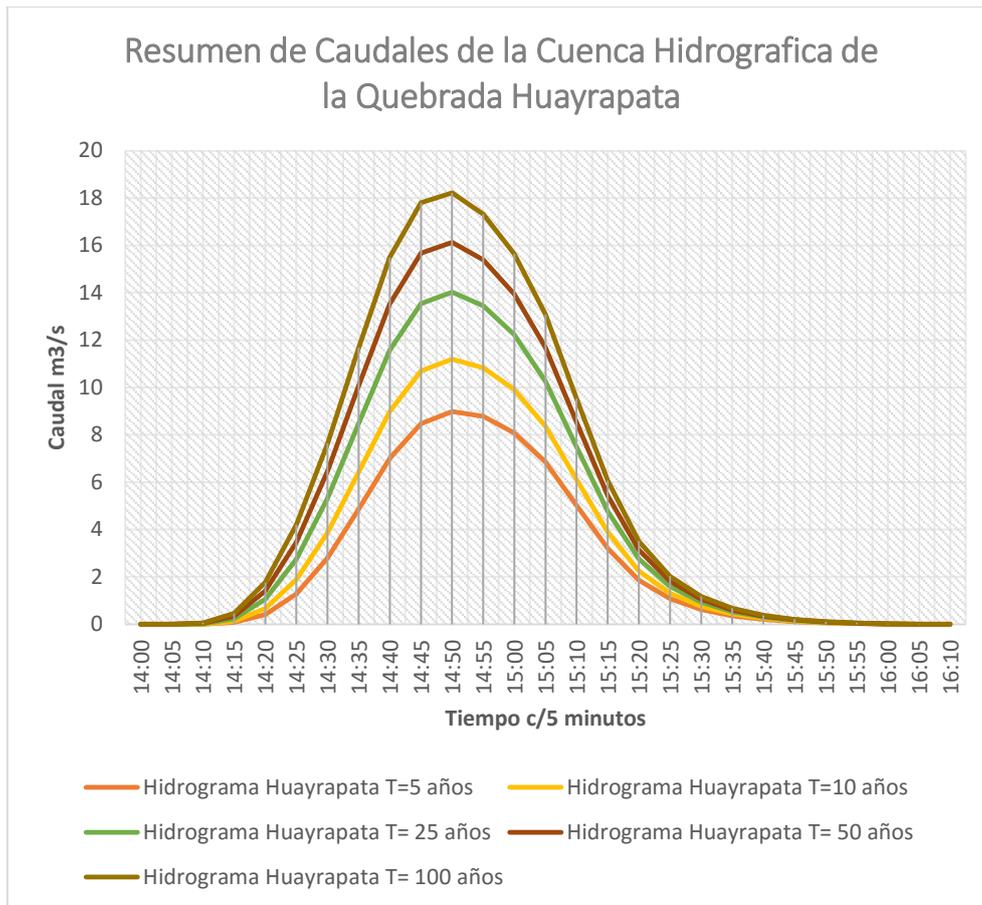


Figura 44. Caudales de la quebrada Huayrapata para diferentes periodos de retorno.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Un resumen de los caudales se describe en la siguiente tabla:

Tabla 40. Caudales de la quebrada Huayrapata al ingreso al área urbana..

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Resumen de caudales de la cuenca hidrográfica de la quebrada Huayrapata				
Periodo de Retorno	Precipitación Volumen (mm)	Perdida Volumen(mm)	Exceso Volumen (mm)	Caudal Máximo (m3/s)
T=5 años	63.56	24.99	38.57	8.99
T=10 años	74.6	26.09	48.51	11.2
T=25 años	88.55	27.19	61.36	14.03
T=50 años	98.93	27.81	71.12	16.13
T=100 años	109.23	28.35	80.88	18.22



### 3.8.4.2. Cuenca Hidrográfica de la quebrada Ishcay

En la cuenca Huayrapata se ha ingresado los siguientes Datos:

- Modelos de la Cuenca
  - Área= 2.058 Km<sup>2</sup>
  - Loss (perdida) Método= SCS Numero de Curva
    - Abstracción Inicial= 5.807mm
    - Numero de Curva= 89.74
    - Impermeabilidad= 1%
  - Transform (transformación) Método = SCS Hidrograma Unitario
    - Tipo de Grafico= Standard (PRF 484)
    - Tiempo de Retraso= 23.083 min.

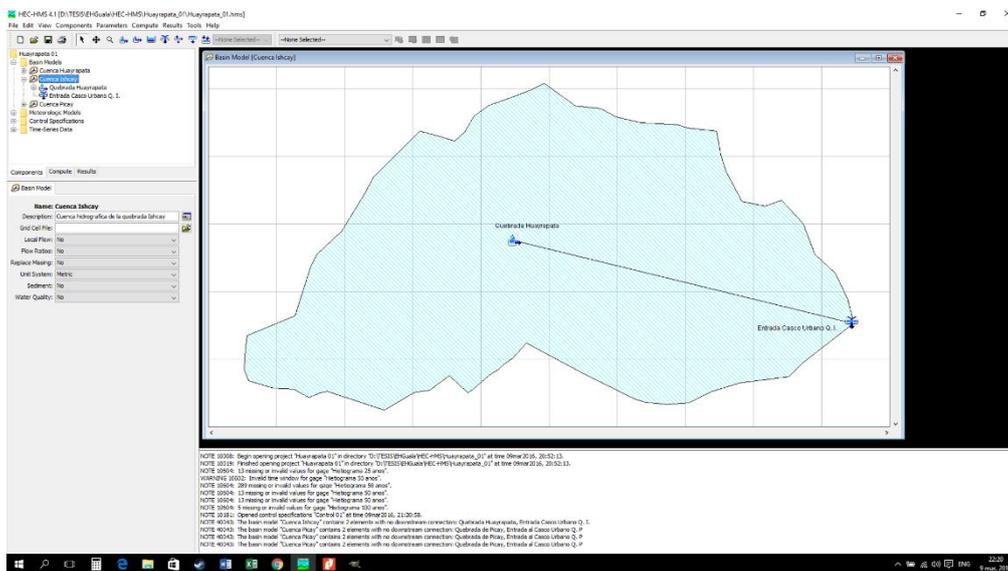


Figura 45. Cuenca Ishcay ingresada en HEC-HMS.

Fuente: Software HEC-HMS.

Elaboración: Autor.

Los caudales generados para 5 periodos de retorno diferentes se describen en la siguiente figura.

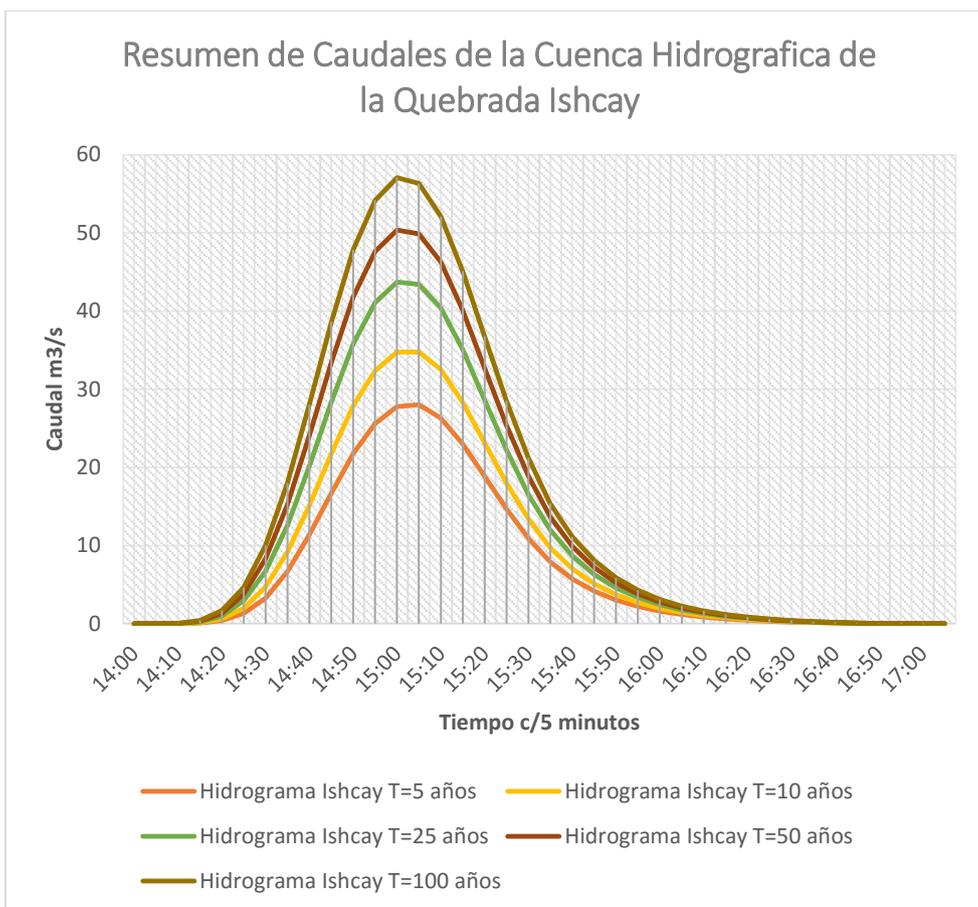


Figura 46. Caudales de la quebrada Ishcay para diferentes periodos de retorno.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Un resumen de los caudales se describe en la siguiente tabla:

Tabla 41. Caudales de la quebrada Ishcay al ingreso al área urbana.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Resumen de caudales de la cuenca hidrográfica de la quebrada Ishcay</b>				
<b>Periodo de Retorno</b>	<b>Precipitación Volumen (mm)</b>	<b>Perdida Volumen(mm)</b>	<b>Exceso Volumen (mm)</b>	<b>Caudal Máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>T=5 años</b>	63.56	24.86	38.7	28
<b>T=10 años</b>	74.6	25.96	48.64	34.77
<b>T=25 años</b>	88.55	27.04	61.51	43.69
<b>T=50 años</b>	98.93	27.66	71.27	50.38
<b>T=100 años</b>	109.23	28.21	81.02	57.07



### 3.8.4.3. Cuenca Hidrográfica de la quebrada Picay.

En la cuenca Huayrapata se ha ingresado los siguientes Datos:

- Modelos de la Cuenca
  - Área= 3.182 Km<sup>2</sup>
  - Loss (perdida) Método= SCS Numero de Curva
    - Abstracción Inicial= 5.482mm
    - Numero de Curva= 90.26
    - Impermeabilidad= 1%
  - Transform (transformación) Método = SCS Hidrograma Unitario
    - Tipo de Grafico= Standard (PRF 484)
    - Tiempo de Retraso= 28.410 min

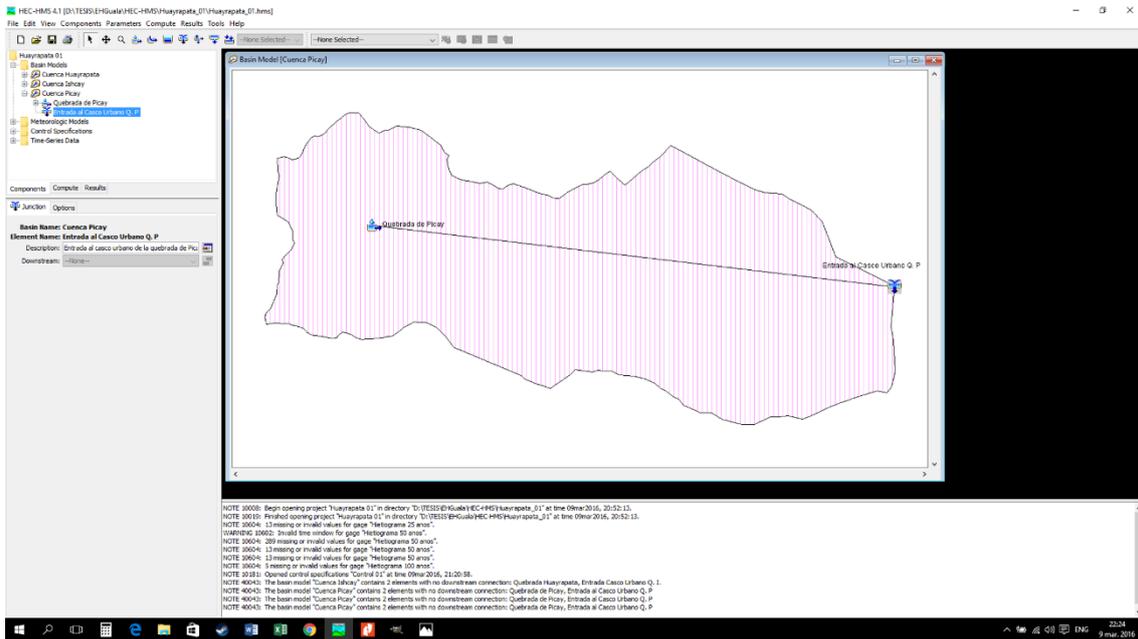


Figura 47. Cuenca Picay ingresada en HEC-HMS.

Fuente: Software HEC-HMS.

Elaboración: Autor.

Los caudales generados para 5 periodos de retorno diferentes se describen en la siguiente figura:

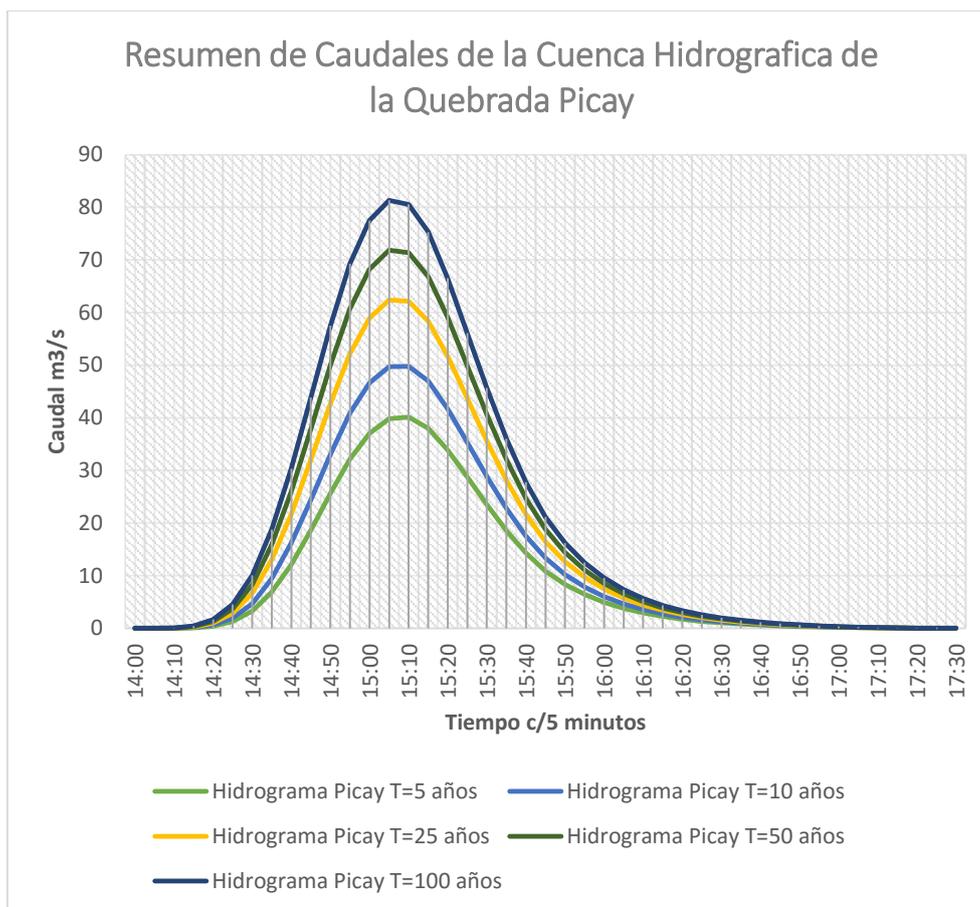


Figura 48. Caudales de la quebrada Picay para diferentes periodos de retorno.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Un resumen de los caudales se describe en la siguiente tabla.

Tabla 42. Caudales de la quebrada Picay al ingreso al área urbana.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

<b>Resumen de caudales de la cuenca hidrográfica de la quebrada Picay</b>				
<b>Periodo de Retorno</b>	Precipitación Volumen (mm)	Perdida Volumen(mm)	Exceso Volumen (mm)	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)
<b>T=5 años</b>	63.56	23.87	39.69	40.15
<b>T=10 años</b>	74.6	24.85	49.75	49.8
<b>T=25 años</b>	88.55	25.85	62.7	62.38
<b>T=50 años</b>	98.93	26.41	72.52	71.88
<b>T=100 años</b>	109.23	26.88	82.35	81.35



### 3.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizando los datos procesados de los caudales generados producidos por las cuencas hidrográficas en las entradas al área urbana de cada quebrada, Huayrapata, Ishcay y Picay.

Los cálculos pueden observarse en la *Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.*

En la quebrada Huayrapata el caudal máximo para un periodo de retorno mínimo de 5 años es de  $8.99 \text{ m}^3/\text{s}$  produciendo un volumen acumulativo de flujo de 38.57mm de exceso y para un periodo de retorno máximo de 100 años un caudal de  $18.22 \text{ m}^3/\text{s}$  produciendo un volumen acumulativo de flujo de 80.88mm de exceso.

Para la quebrada Ishcay el caudal máximo para un periodo de retorno mínimo de 5 años es de  $28.00 \text{ m}^3/\text{s}$  produciendo un volumen acumulativo de flujo de 38.7mm de exceso y para un periodo de retorno máximo de 100 años un caudal de  $57.07 \text{ m}^3/\text{s}$  produciendo un volumen acumulativo de flujo de 81.02mm de exceso.

Para la quebrada Picay el caudal máximo para un periodo de retorno mínimo de 5 años es de  $40.15 \text{ m}^3/\text{s}$  produciendo un volumen acumulativo de flujo de 39.69mm de exceso y para un periodo de retorno máximo de 100 años un caudal de  $81.35 \text{ m}^3/\text{s}$  produciendo un volumen acumulativo de flujo de 82.35mm de exceso.

Se puede considerar que estos caudales generados son los máximos probables debido a que se ha considerado como número de curva *CN* en la condición hidrológica húmeda el *AMC III* y para escoger el tiempo de concentración se ha realizado un promedio de los valores de *Tc* que estén en un rango medio.

En los subcapítulos anteriores se detallaron los resultados de los caudales máximos obtenidos mediante el software HEC-HMS, se puede afirmar que los caudales obtenidos se podrán utilizar para diseños hidráulicos de las cuencas en la zona urbana de la ciudad de Gualaceo, además podrán servir para determinar el arrastre de sólidos sobre la cuenca hidrográfica de las quebradas de la ciudad de Gualaceo.



## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

La Evaluación hidrológica de las cuencas hidrográficas de la ciudad de Gualaceo de las quebradas Huayrapata, Ishcay y Picay concluye:

Existe poca información de precipitación, más aún si se requiere en tiempo real, los datos publicados por el INAMHI y ETAPA no son actualizados y la tramitología de las entidades públicas no agiliza la divulgación de las precipitaciones meteorológicas instaladas sobre el río Santa Bárbara de Gualaceo.

Los Sistemas de Información Geográfica son una tecnología innovadora y representa una herramienta útil para el análisis de componentes espaciales, como es el caso de análisis de cuencas hídricas en todas las características y herramientas que fueron utilizados en el estudio.

La precipitación en la región, de acuerdo a los registros de la estación meteorológica de Gualaceo se observó una precipitación máxima en dos periodos diferentes que comprenden los meses de febrero – marzo y de octubre – noviembre. Y la menor precipitación que se observó se produce en los meses de agosto.

Las micro cuencas de las quebradas de aportación analizadas tienen un área inferior a 3 Km<sup>2</sup>, tienen una forma alargada con pendientes no tan pronunciadas, las pendientes de los cauces varían entre el 10% y 12%.

Debido a que las áreas de las cuencas de aportación son relativamente pequeñas y consecuentemente los parámetros que derivan de ella, como los tiempos de concentración (Tc), estos no superan los 30 minutos, teniendo así que para la quebrada Huayrapata el Tc es de 12min, para la quebrada Ishcay Tc=23min y para la quebrada Picay Tc=28min, esto produce una intensidad de lluvia alta y una descarga pico de caudal alto.

Los modelos Hidrológicos escogidos para el estudio de generación de caudales fueron en función de los datos que se contaban, debido a que no se existen pluviogramas de precipitación, se procedió a un modelo probabilístico para el análisis de frecuencia de precipitaciones máximas. Y los datos recolectados de las características de las cuencas, nos obligaron a seguir un modelo paramétrico de variables de las cuencas de aportación.

Las cuencas de aportación analizadas tienen dos tipos de suelo que se pueden definir, uno en la parte baja y media alta de las cuencas, donde existen suelos Vertisoles, y en la parte alta se observa Inceptisoles.

Los usos actuales del suelo se obtuvieron a través de la imagen satelital donde se puede observar el sobrepastoreo en las zonas del páramo, los bosques con poca cobertura y la mala práctica agrícola. Con una inspección al campo se corroboró esta información observando la deforestación del bosque nativo, pastizales de mala calidad y los cultivos sembrados a la comodidad del agricultor ya que la SCS recomienda que los cultivos sigan las curvas de nivel.

Siguiendo el modelo paramétrico mediante la aplicación del método de la SCS una variable importante es el número de curva (CN) el cual está en relación directa con el tipo y uso de suelo, debido a que las cuencas de aportación tienen un grupo hidrológico B en la parte baja y C en la



parte alta el valor de CN fue en promedio de 79 para una condición hidrológica normal, pero para el análisis de valores extremos el CN calculado para condiciones húmedas fue de 89 en promedio de las cuencas de aportación, valor que da cuenta de la alta posibilidad de que se genere un caudal pico preocupante.

Para obtener la precipitación máxima anual en 24 horas, se ha correlacionado los registros de la estación meteorológica de Gualaceo mediante diferentes métodos estadísticos y se ha realizado la prueba de normalidad de Anderson de esta forma los datos correlacionados se ha comprobado que son independientes entre ciclos largos y siguen las leyes al azar y no son eventos determinísticos.

El modelo probabilístico aplicado para la determinación de la distribución de la precipitación máxima anual en 24 horas extrapolado a diferentes periodos de retorno fue determinado mediante la función de Gumbel para periodos de retorno de T=5, 10, 25, 50 y 100 años, ya que fue la función con menor error de ajuste. Las curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF) se obtuvieron mediante el método de Grunsky el cual permite convertir las lluvias diarias máximas en intensidades máximas de diferente duración.

Para la determinación del caudal de escorrentía generado en las cuencas hidrográficas, se generó un hietograma de diseño obtenido a partir de las curvas IDF para cada periodo de retorno a través del método de Bloque Alterno. Estos hietogramas de diseño más las variables físicas de las cuencas de aportación de las quebradas con la ayuda del software HEC-HMS se obtuvieron los caudales de las cuencas de aportación de las quebradas Huayrapata, Ishcay y Picay.

El software HEC-HMS para la transformación de la precipitación neta a escorrentía directa se basa en el método del hidrograma unitario de la SCS para lo cual la variable necesaria es el tiempo de concentración de la cuenca de aportación más el hietograma de diseño, HEC-HMS también nos permite estimar un caudal más real ya que interviene la variable de pérdida, en este caso se utilizó el método de las SCS Numero de Curva, para lo cual las variables necesarias son, la abstracción inicial, numero de curva y la impermeabilidad de cada cuenca de aportación.

Los caudales obtenidos en las cuencas de aportación de las quebradas de la ciudad de Gualaceo, se puede afirmar que varían de acuerdo a tres variables importantes: Área de la cuenca, Número de Curva (CN) y el tiempo de concentración el cual sirve para definir la duración de la lluvia, se puede observar en la siguiente Tabla.

Tabla 43. Resumen de Caudales generados en las cuencas de aportación de las quebradas de la ciudad de Gualaceo.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Caudales generados en la cuenca hidrográfica de la quebrada Huayrapata. Área= 0,546 Km2		Caudales generados en la cuenca hidrográfica de la quebrada Ishcay. Área= 2,058 Km2		Caudales generados en la cuenca hidrográfica de la quebrada Picay. Área= 3,182 Km2	
Periodo de Retorno	Caudal Máximo (m3/s)	Periodo de Retorno	Caudal Máximo (m3/s)	Periodo de Retorno	Caudal Máximo (m3/s)
T=5 años	8,99	T=5 años	28	T=5 años	40,15
T=10 años	11,2	T=10 años	34,77	T=10 años	49,8
T=25 años	14,03	T=25 años	43,69	T=25 años	62,38
T=50 años	16,13	T=50 años	50,38	T=50 años	71,88
T=100 años	18,22	T=100 años	57,07	T=100 años	81,35



## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones aquí indicadas se basan en los resultados obtenidos y van dirigidas directamente al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Gualaceo ya que deberá velar por la conservación de las cuencas hidrográficas y la seguridad de la población de la ciudad de Gualaceo.

Para la medición de la precipitación en tiempo real se recomienda la instalación de estaciones pluviográficas en las cuencas del río Santa Bárbara y los cauces de aportación, de esta forma se podrá tomar precauciones cuando se estén produciendo fuertes precipitaciones y se podrá anticipar el riesgo en la ciudad.

Se deberá estar preparado para los inviernos que ocurren, ya que se observó que en los meses de febrero – marzo y de octubre – noviembre las precipitaciones alcanzan un valor máximo en el año, para esto deberá existir una coordinación para la limpieza de las quebradas para evitar exceso de sólidos, una limpieza de los sumideros para evitar colapsar el sistema de alcantarillado de la ciudad y velar por la seguridad de la población de Gualaceo.

Debido a que una variable importante en la generación de escorrentía de las cuencas de aportación es el tipo, uso y estado del suelo se recomienda mantener una conservación activa de la cobertura vegetal mediante la regeneración del ecosistema, reforestación de plantas endémicas en las zonas de bosques, así como de pastizales en las cuencas de aportación.

Ya que existe gran presencia de agricultura en las cuencas hidrográficas de aportación se recomienda frenar la expansión de esta y crear zonas de recreación natural y conservación de potreros, en las zonas actuales de producción agrícola se deberá brindar las tecnologías apropiadas y el asesoramiento agrícola para un sistema de riego adecuado a las pendientes del terreno.

Se deberá establecer estructuras de medición de caudales constantes y permanentes para las cuencas estudiadas al ingreso del perímetro urbano y así tener una mejor validación del modelo hidrológico empleado en el estudio.

La integración entre los sistemas de información geográfica y los modelos hidrológicos para la determinación de caudales máximos en cuencas de aportación, abre la posibilidad de seguir investigando modelos que simulen procesos que ocurren dentro de una cuenca hidrográfica, mejorando la interpretación de estos y calcular caudales que se asemejen a la realidad en las cuencas de estudio.

Se plantea realizar los estudios hidráulicos de las quebradas de la ciudad de Gualaceo y determinar las áreas inundables para cada quebrada, de esta forma se podrá determinar los espacios que serán ocupados por hipotéticas avenidas de caudal y zonificar las áreas de ocupación de las mismas.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. (1989). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. Mexico: LIMUSA S.A. DE C.V.
- ArcGis Resources. (20 de octubre de 2015). *Soil Hydrology of the United States* . Obtenido de Resources. ArcGis:  
<http://resources.arcgis.com/es/communities/soils/02ms00000008000000.htm>
- Artieda, O. (2008). *Papel del suelo en el ciclo hidrológico*. Extremadura: Universidad de Extremadura, Área de Edafología y Química Agrícola.
- Cabrera, J. C. (01 de 01 de 2010). *Instituto para la mitigacion de los efectos del fenomeno del niño*. IMEFEN. (IMEFEN, Ed.) Recuperado el 01 de 03 de 2016, de imefen.uni.edu.pe:  
[http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_1.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf)
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. (2012). *GEOMORFOLOGÍA APLICADA*. Coruña: Universidade da Coruña.
- ESRI. (26 de 10 de 2015). *ArcGIS Resources*. Obtenido de ArcGIS Resources Center:  
<http://resources.arcgis.com/es/home/>
- GAD Municipal de Gualaceo. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Canton Gualaceo*. Gualaceo.
- Guayasamin de Lopez, Z., Velasquez, L., & Molina, L. (1986). *Resúmenes de tesis de grado de la facultad de ciencias agrícolas de la universidad de narino 1954-1986*. Pasto, Colombia: IICA Biblioteca Venezuela.
- Guevara, J. M. (2003). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- Hydrologic Engineering Center. (01 de 01 de 1964). *U.S. Army Corps of Engineers of the Institute for Water Resources*. Recuperado el 15 de 02 de 2016, de Hydrologic Engineering Center: <http://www.hec.usace.army.mil/>
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2013). *Inceptisoles*. Universidad Politécnica de Valencia, Producción Vegetal . Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 10 de 02 de 2015, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf>
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (26 de 10 de 2013). *Morfología de una Cuenca*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. Valencia: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. Obtenido de riunet.upv.es:  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2013). *Vertisoles*. Universitat Politècnica de València, Producción Vegetal . Valencia: Universitat Politècnica de València. Recuperado el 10 de 02 de 2016, de Universidad Politècnica de València:  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12869/Vertisoles.pdf?sequence=3>



- INAMHI. (1999). *ESTUDIO DE LLUVIAS INTENSAS*. QUITO: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- INAMHI. (2010). *INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS*. Quito: INAMHI ECUADOR. Obtenido de <http://issuu.com>.
- Instituto Nacional de Biodiversidad. (26 de 10 de 2015). *INBIO COSTA RICA*. Obtenido de INBIO COSTA RICA: <http://www.inbio.ac.cr/>
- Linsley, Kohler, & Paulus. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. Bogota: McGraw-Hill Latinoamericana.
- Microsoft Excel. (01 de 01 de 2013). <https://support.office.com/>. Obtenido de Ayuda de Excel: <https://support.office.com/es-HN/article/COEFICIENTE-R2-funci%C3%B3n-COEFICIENTE-R2-d7161715-250d-4a01-b80d-a8364f2be08f>
- Ordoñez Gálvez, D. J. (2011). *CARTILLA TÉCNICA ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima. Obtenido de Global Water Partnership: <http://www.gwp.org/>
- Organizacion Meteorologica Mundial. (1994). *GUIA DE PRACTICAS HIDROLOGICAS - ADQUISICIÓN Y PROCESO DE DATOS, ANÁLISIS, PREDICCIÓN Y OTRAS APLICACIONES*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books/about/Gu%C3%ADa\\_de\\_pr%C3%A1cticas\\_hidrol%C3%B3gicas.html?id=XU6jAAAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Gu%C3%ADa_de_pr%C3%A1cticas_hidrol%C3%B3gicas.html?id=XU6jAAAACAAJ&redir_esc=y)
- Ponce, V. M. (01 de 01 de 1989). *Universidad Nacional del Nordeste - Facultad de Ingeniería Civil*. (P. Hall, Ed.) Recuperado el 01 de 03 de 2016, de [ing.unne.edu.ar](http://ing.unne.edu.ar/pub/Modelos%20hidrologicos_Tema9.pdf)
- Ponce, V. M. (1 de 11 de 2015). [ponce.sdsu.edu/](http://ponce.sdsu.edu/). Obtenido de Prof. Victor Miguel Ponce's website : [http://ponce.sdsu.edu/periodos\\_de\\_retorno\\_articulo.html](http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html)
- Sanchez San Roman, J. F. (2015). *Manual Elemental de HEC-HMS*. Salamanca: Universidad de Salamanca. Departamento de Geología. Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/Complementos/Hec-hms-4.pdf>
- SIGIHM, D. d. (2013). *Anuario Meteorológico 2011. Nro. 51*. Quito: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - INAMHI.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). (1964). Hydrologic Soil-Cover Complexes. En V. Mockus, *Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes* (pág. 20). Washington, DC: USDA. Obtenido de <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17758.wba>
- Unidad Técnica del Proyecto Panamá - Darién. (1976). *Proyecto de Desarrollo Integrado de la Región Oriental de Panamá - Darién*. Panama: Secretaria General de la Organizacion de los Estados Americanos. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea30s/begin.htm#Contents>
- Ven Te Chow, D. R. (1994). *Hidrología Aplicada*. Illinois: McGraw-Hill.

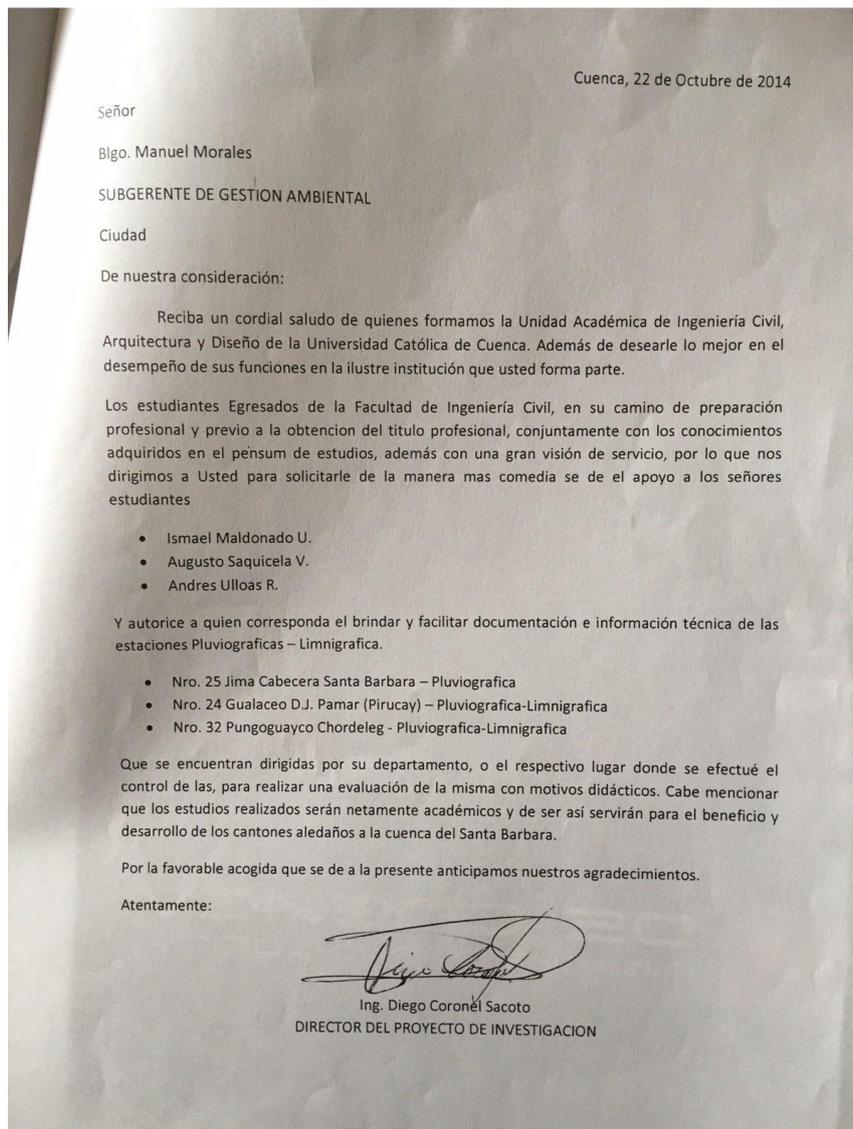


## 6. ANEXOS



## 6.1. ANEXO 1.

### DOCUMENTOS



*Anexo 1. Oficio de solicitud de datos de precipitación.*



## 6.2. ANEXO 2

### AUTO CORRELACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO PROMEDIOS

**METODO PROMEDIOS**

El método propone realizar el promedio de 3 o mas datos del mismo mes en diferentes años que estén cercanos.

RESUMEN

Bibliografía Sugerido por el Ingeniero Diego Coronel, Director del trabajo de titulacion.

(1) Completacion de Datos

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979
	Max 24H														
1	3.5	11.2	22	16.2	7	24.6	5.8	16.925	32	5.3	16.7	10.5	14.2	15.6	14
2	6.5	9	44.1	35.9	24.8	65.7	32.8	40.775	22.8	41.8	34.7	27.3	23.8	17.4	15.8
3	5.4	0.5	21.3	26	52.8	29.4	10	26.175	43.1	22.2	21.6	38.6	30.3	43.5	17.5
4	15.5	24.1	22.5	24.775	11.6	40.9	16	26.525	29.6	19.6	15.9	19.2	19.925	19.7	24.9
5	6.9	14.5	9.6	12.8	18.5	8.6	19.3	11.5	7.1	11	8.9	25.4	19.525	28.8	15
6	17.3	4.9	13	10.375	15.1	8.5	15.1	11.1	11.5	9.3	15	27.6	17.7	23.1	5.1
7	11.4	2	11.1	6.925	11.2	3.4	6	12.25	22.7	16.9	20.2	18.9	13.05	7.2	5.9
8	11.4	6.6	4.7	7.125	11.1	6.1	13	16.075	31.8	13.4	3.7	9	5.85	5.7	5
9	17.1	12.2	7.8	10.15	9.2	11.4	14	11.275	6.5	13.2	12.6	9	11.2	17.7	5.5
10	9.6	25.7	15.5	16.45	10.1	14.5	39.7	26.025	33.9	16	16.5	12.2	11.575	14.6	3
11	27	24.4	48	22.625	1.8	16.3	28.5	22.375	27.1	17.6	19.2	30.6	19.275	6.2	21.1
12	23.4	17.7	12.1	23.2	38.7	24.3	20.5	23.7	13.2	36.8	17.6	15.8	24.275	23.8	39.9

1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996
Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H											
26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	21.3	22.1	27.600	28.2	32.5	28.4	24.5	13.45	2.4	14.0666667
30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	15.525	21	26.800	36.9	22.5	31.7333333	35.8	27.5	19.2	20.0333333
18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	26.925	43.3	26.967	27.8	9.8	18.3666667	17.5	13.05	8.6	16.3
24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	31.125	31.4	16.433	4.1	13.8	13.8	23.5	21.15	18.8	15.0666667
9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	19.725	20.5	10.167	4.5	5.5	6.2333333	8.7	21.7	34.7	30.4333333
8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	5.9275	0.01	5.603	12.1	4.7	15.0666667	28.4	20.4	12.4	11.8333333
9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4	9.45	15.6	16.067	11.5	21.1	11.7	2.5	6.2	9.9	9
8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4	5.5	7.8	6.300	1.7	9.4	5.3333333	4.9	3.1	1.3	3.3666667
10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2	7.5025	0.01	5.903	7.2	10.5	9.4	10.5	6.4	2.3	13.8333333
26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	17.1525	0.01	20.770	35	27.3	22.7333333	5.9	10.1	14.3	16.6666667
50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	21.475	17	17.167	10.5	24	24.8333333	40	30.2	20.4	25.7
29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6	13.05	6.7	20.967	17.8	38.4	25.2	19.4	21.9	24.4	23.8

1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H														
22	17.8	18.1	9	23.6	16.8	22.7	32.5	30.35	35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4
17.2	23.7	23.6	18.2	35.3	8.2	50.1	21.5	26.75	3.4	32	7.3	39	34.5	21.3
12.9	27.4	17.925	16.9	14.5	20.1	30.9	23.3	24	14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4
7.6	18.8	14.675	14.9	17.4	19.7	38.7	27.2	30.125	27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2
18.5	38.1	26.1	11.8	36	9	20.6	5.9	15.75	14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7
19.1	4	10.85	13.8	6.5	12.6	9.6	15.1	14.875	15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1
6.4	10.7	7.825	4.6	9.6	8.7	5.5	5.1	5.6	7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7
4.4	4.4	5.05	7.2	4.2	4.6	3.6	7.1	7.45	12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2
38.4	0.8	18.075	29.5	3.6	16.8	36.9	10.9	17.1	8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7
13.6	22.1	19.75	23	20.3	32.7	11.5	30.1	26.975	33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2
26.6	30.1	27.825	30	24.6	22.1	37	16.7	27.4	17.9	38	34.6	45.5	36.2	36
44.7	2.3	23.275	20.2	25.9	17.2	36.7	26.6	26.525	20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO RACIONAL

Método Racional

Entre los diferentes métodos aplicados para determinar datos faltantes de lluvia en los registros pluviométricos, se puede mencionar el método racional, el cual es propuesto por José Manuel Guevara en el trabajo titulado: Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos.

Guevara J, 2003. Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. Universidad Central de Venezuela.

$$\text{Cuadro N}^\circ 2 = \frac{\text{Precipitación mm (Mes)}}{\sum \text{Precipitación Año}} \%$$

(1) DATOS ORIGINALES

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	Max 24H																						
1	3.5	11.2	22	26.3	7	24.6	5.8	18	32	5.3	16.7	10.5	7.5	15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	36.8	22.1
2	6.5	9	44.1		24.8	65.7	32.8	21.8	22.8	41.8	34.7	27.3	3.8	17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	10.4	21
3	5.4	0.5	21.3	9.6	52.8	29.4	10	104.7	43.1	22.2	21.6	38.6	27	43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	10.8	43.3
4	15.5	24.1	22.5	15.8	11.6	40.9	16	32.7	29.6	19.6	15.9	19.2		19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	5.5	31.4
5	6.9	14.5	9.6	11.7	18.5	8.6	19.3	9.1	7.1	11	8.9	25.4	5.8	28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	9.7	20.5
6	17.3	4.9	13	9.2	15.1	8.5	15.1		11.5	9.3	15	27.6	18.9	23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	3.2	0.01
7	11.4	2	11.1	13.9	11.2	3.4	6	11.3	22.7	16.9	20.2	18.9	6.6	7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4		15.6
8	11.4	6.6	4.7	13.4	11.1	6.1	13	11.2	31.8	13.4	3.7	9	10.2	5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4		7.8
9	17.1	12.2	7.8	9.8	9.2	11.4	14	11.4	6.5	13.2	12.6	9	15.5	17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2		0.01
10	9.6	25.7	15.5	9.5	10.1	14.5	39.7	15.6	33.9	16	16.5	12.2		14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	14.2	0.01
11	27	24.4	48	10.6	1.8	16.3	28.5	8.5	27.1	17.6	19.2	30.6	25.4	6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	23.7	17
12	23.4	17.7	12.1	12.3	38.7	24.3	20.5	13.3	13.2	36.8	17.6	15.8	7.8	23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6	16.1	6.7
(1) Sum	155	152.8	231.7	142.1	211.9	253.7	220.7	257.6	281.3	223.1	202.6	244.1	128.5	223.3	172.7	252.2	239.2	251.1	234.2	199.3	159.7	130.4	185.43

(2) Cálculo de los porcentajes de lluvia en meses con datos completos %

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	Porc. Pre./Año																						
1	2.258%	7.330%	9.495%		3.303%	9.696%	2.628%		11.376%	2.376%	8.243%	4.302%		6.986%	8.107%	10.508%	14.507%	15.293%	10.333%	6.774%	15.905%		11.918%
2	4.194%	5.890%	19.033%		11.704%	25.897%	14.862%		8.105%	18.736%	17.127%	11.184%		7.792%	9.149%	11.895%	9.950%	16.049%	8.753%	8.279%	2.567%		11.325%
3	3.484%	0.327%	9.193%	9.6	24.917%	11.588%	4.531%		15.322%	9.951%	10.661%	15.813%		19.481%	10.133%	7.415%	19.732%	4.142%	13.194%	10.035%	8.453%		23.351%
4	10.000%	15.772%	9.711%	9.6	5.474%	16.121%	7.250%		10.523%	8.785%	7.848%	7.866%		8.822%	14.418%	9.516%	2.801%	9.040%	20.666%	12.845%	11.960%		16.934%
5	4.452%	9.490%	4.143%	9.6	8.731%	3.390%	8.745%		2.524%	4.931%	4.393%	10.406%		12.897%	8.686%	3.767%	2.801%	8.204%	7.472%	13.648%	8.579%		11.055%
6	11.161%	3.207%	5.611%	9.6	7.126%	3.350%	6.842%		4.088%	4.169%	7.404%	11.307%		10.345%	2.953%	3.172%	3.094%	14.297%	2.605%	5.419%	4.258%		0.005%
7	7.355%	1.309%	4.791%	9.6	5.286%	1.340%	2.719%		8.070%	7.575%	1.340%	9.970%		3.224%	3.416%	3.925%	9.365%	6.093%	1.537%	6.121%	4.008%		8.413%
8	7.355%	4.319%	2.028%	9.6	5.238%	2.404%	5.890%		11.305%	6.006%	1.826%	3.687%		2.553%	2.895%	3.291%	5.059%	0.558%	1.366%	2.810%	3.381%		4.206%
9	11.032%	7.984%	3.366%	9.6	4.342%	4.493%	6.343%		2.311%	5.917%	6.219%	3.687%		7.927%	3.185%	4.163%	11.873%	1.912%	3.074%	3.813%	9.518%		0.005%
10	6.194%	16.819%	6.690%	9.6	4.766%	5.715%	17.988%		12.051%	7.172%	8.144%	4.998%		6.538%	1.737%	10.626%	5.936%	7.009%	8.668%	10.186%	17.533%		0.005%
11	17.419%	15.969%	20.716%	9.6	0.849%	6.425%	12.913%		9.634%	7.889%	9.477%	12.536%		2.777%	12.218%	19.905%	3.763%	7.885%	11.144%	15.705%	7.201%		9.168%
12	15.097%	11.584%	5.222%	9.6	18.263%	9.578%	9.289%		4.692%	16.495%	8.687%	6.473%		10.658%	23.104%	11.816%	11.120%	9.518%	11.187%	4.365%	6.637%		3.613%

(3) Cálculo de C: Porcentaje de lluvia de los meses con datos faltantes = 1-(ΣPromedio del mes faltante)

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	Prom.Porc.Anual																						
1																							
2				11.198%																			
3																							
4													10.476%										
5																							
6							5.927%																
7																							
8																						4.807%	
9																						3.357%	
10																						5.343%	
11																							
12																							

$C(3.1) = \frac{X \text{ Porcentaje de Lluvias de datos completos (2.2)} \times \sum \text{Precipitaciones de datos incompletos (1)}}{\sum \text{Precipitaciones de datos completos}}$

(4) Cálculo de precipitación de los y máximos mensuales

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	Rac Prec 24H																						
1	3.500	11.200	22.000	13.355	7.000	24.600	5.800	24.211	32.000	5.300	16.700	10.500	12.077	15.600	14.000	26.500	34.700	38.400	24.200	13.500	25.400	36.800	22.100
2	6.500	9.000	44.100	17.919	24.800	65.700	32.800	32.484	22.800	41.800	34.700	27.300	16.204	17.400	15.800	30.000	23.800	40.300	20.500	16.500	4.100	10.400	21.000
3	5.400	0.500	21.300	16.472	52.800	29.400	10.000	29.860	43.100	22.200	21.600	38.600	14.895	43.500	17.500	18.700	47.200	10.400	30.900	20.000	13.500	10.800	43.300
4	15.500	24.100	22.500	18.832	11.600	40.900	16.000	34.139	29.600	19.600	15.900	19.200	17.030	19.700	24.900	24.000	6.700	22.700	48.400	25.600	19.100	5.500	31.400
5	6.900	14.500	9.600	11.532	18.500	8.600	19.300	20.905	7.100	11.000	8.900	25.400	10.428	28.800	15.000	9.500	6.700	20.600	17.500	27.200	13.700	9.700	20.500
6	17.300	4.900	13.000	8.953	15.100	8.500	15.100	16.229	11.500	9.300	15.000	27.600	8.096	23.100	5.100	8.000	7.400	35.900	6.100	10.800	6.800	3.200	0.010
7	11.400	2.000	11.100	7.981	11.200	3.400	6.000	14.468	22.700	16.900	20.200	18.900	7.217	7.200	5.900	9.900	22.400	15.300	3.600	12.200	6.400	7.324	15.600
8	11.400	6.600	4.700	5.114	11.100	6.100	13.000	9.270	31.800	13.400	3.700	9.000	4.624	5.700	5.000	8.300	12.100	1.400	3.200	5.600	5.400	4.693	7.800
9	17.100	12.200	7.800	8.021	9.200	11.400	14.000	14.541	6.500	13.200	12.600	9.000	7.254	17.700	5.500	10.500	28.400	4.800	7.200	7.600	15.200	7.361	0.010
10	9.600	25.700	15.500	16.560	10.100	14.500	39.700	30.019	33.900	16.000	16.500	12.200	14.975	14.600	3.000	26.800	14.200	17.600	20.300	20.300	28.000	14.200	0.010
11	27.000	24.400	48.000	18.455	1.800	16.300	28.500	33.456	27.100	17.600	19.200	30.600	16.689	6.200	21.100	50.200	9.000	19.800	26.100	31.300	11.500	23.700	17.000
12	23.400	17.700	12.100	16.945	38.700	24.300																	

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO RACIONAL

1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																						
0.01	28.2	32.5	23.8	24.5	19	2.4	39.1	22	17.8	20.9	9	23.6	16.8	22.7	32.5	27.1	35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4
30.4	36.9	22.5	9.4	35.8	11.5	19.2	32	17.2	23.7	22.9	18.2	35.3	8.2	50.1	21.5	87.2	3.4	32	7.3	39	34.5	21.3
11.8	27.8	9.8	17	17.5	31.6	8.6		12.9	27.4	34.8	16.9	14.5	20.1	30.9	23.3	11.1	14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4
44.3	4.1	13.8	15.3	23.5	20.1	18.8		7.6	18.8	10.3	14.9	17.4	19.7	38.7	27.2	21.8	27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2
27.3	4.5	5.5	10.6	8.7		34.7	27.6	18.5	38.1	24	11.8	36	9	20.6	5.9	7.7	14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7
8.4	12.1	4.7	11.3	28.4	11	12.4	7.6	19.1	4	8.7	13.8	6.5	12.6	9.6	15.1	12.8	15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1
	11.5	21.1		2.5	20.2	9.9	8.9	6.4	10.7	15.9	4.6	9.6	8.7	5.5	5.1	3.7	7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7
7.6	1.7	9.4	1.6	4.9	18.5	1.3	10.4	4.4	4.4	8.4	7.2	4.2	4.6	3.6	7.1		12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2
6.6	7.2	10.5	33	10.5	8.5	2.3	10.5	38.4	0.8	32.4	29.5	3.6	16.8	36.9	10.9	14.1	8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7
22.7	35	27.3	31.5	5.9	35.2	14.3	19.9	13.6	22.1		23	20.3	32.7	11.5	30.1	35.4	33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2
18.1	10.5	24	26.2	40	29	20.4	10.4	26.6	30.1		30	24.6	22.1	37	16.7	21.5	17.9	38	34.6	45.5	36.2	36
23	17.8	38.4	22.7	19.4	25.5	24.4	14.9	44.7	2.3		20.2	25.9	17.2	36.7	26.6	21.4	20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2
200.21	197.3	219.5	202.4	221.6	230.1	168.7	181.3	231.4	200.2	178.3	199.1	221.5	188.5	303.8	222	263.8	210.6	275.2	208.9	267.7	337.2	275.1

1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2.1	2.2
Porc. Pre./Año	Suma	Promedio																						
14.293%	14.806%			11.056%		1.423%		9.507%	8.891%		4.520%	10.655%	8.912%	7.472%	14.640%		17.047%	11.010%	17.472%	4.408%	10.943%	9.960%	338.352%	9.399%
18.702%	10.251%			16.155%		11.381%		7.433%	11.838%		9.141%	15.937%	4.350%	16.491%	9.685%		1.614%	11.628%	3.494%	14.569%	10.231%	7.743%	403.135%	11.198%
14.090%	4.465%			7.897%		5.098%		5.575%	13.686%		8.488%	6.546%	10.663%	10.171%	10.495%		6.648%	10.102%	7.755%	2.690%	10.261%	17.594%	373.948%	10.387%
2.078%	6.287%			10.605%		11.144%		3.284%	9.391%		7.484%	7.856%	10.451%	12.739%	12.252%		12.868%	9.993%	18.813%	11.655%	6.732%	17.157%	377.140%	10.476%
2.281%	2.506%			3.926%		20.569%		7.995%	19.031%		5.927%	16.253%	4.775%	6.781%	2.658%		6.695%	8.140%	5.409%	6.911%	9.253%	2.799%	270.218%	7.506%
6.133%	2.141%			12.816%		7.350%		8.254%	1.998%		6.931%	2.935%	6.684%	3.160%	6.802%		7.265%	7.086%	4.308%	9.301%	4.300%	5.489%	213.366%	5.927%
	5.829%			1.128%		5.868%		2.766%	5.345%		2.310%	4.334%	4.615%	1.810%	2.297%		3.371%	1.708%	1.915%	6.014%	8.689%	3.162%	173.035%	4.807%
	0.862%			2.211%		0.771%		1.901%	2.198%		3.616%	1.896%	2.440%	1.185%	3.198%		5.983%	2.362%	2.872%	5.006%	2.728%	1.163%	120.854%	3.357%
	3.649%			4.738%		1.363%		16.595%	0.400%		14.817%	1.625%	8.912%	12.146%	4.910%		4.179%	4.288%	1.436%	3.437%	3.292%	0.618%	192.353%	5.343%
	17.739%			2.662%		8.477%		5.877%	11.039%		11.552%	9.165%	17.347%	3.785%	13.559%		16.049%	11.810%	15.653%	6.238%	4.537%	13.522%	340.228%	9.451%
	5.322%			18.051%		12.092%		11.495%	15.035%		15.068%	11.106%	11.724%	12.179%	7.523%		8.500%	13.808%	16.563%	16.997%	10.735%	13.086%	413.810%	11.495%
	9.022%			8.755%		14.464%		19.317%	1.149%		10.146%	11.693%	9.125%	12.080%	11.982%		9.782%	8.067%	4.308%	12.775%	18.298%	7.706%	383.562%	10.654%

1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	3.1
Prom.Porc.Añual	C																						
																							100.000%
																							88.802%
																							89.613%
																							79.048%
																							92.494%
																							94.073%
																							85.580%
																							93.286%
																							94.657%
																							81.098%
																							88.505%
																							89.346%

1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Rac Prec 24H																						
18.817	28.200	32.500	19.023	24.500	21.626	2.400	17.040	22.000	17.800	16.758	9.000	23.600	16.800	22.700	32.500	24.794	35.900	30.300	36.500	11.800	36.900	27.400
25.247	36.900	22.500	25.523	35.800	29.016	19.200	22.863	17.200	23.700	22.484	18.200	35.300	8.200	50.100	21.500	33.266	3.400	32.000	7.300	39.000	34.500	21.300
23.207	27.800	9.800	23.461	17.500	26.672	8.600	21.015	12.900	27.400	20.668	16.900	14.500	20.100	30.900	23.300	30.578	14.000	27.800	16.200	7.200	34.600	48.400
44.3	4.100	13.800	26.824	23.500	30.495	18.800	24.027	7.600	18.800	23.630	14.900	17.400	19.700	38.700	27.200	34.961	27.100	27.500	39.300	31.200	22.700	47.200
27.3	4.500	5.500	16.425	8.700	18.673	34.700	14.713	18.500	38.100	14.469	11.800	36.000	9.000	20.600	5.900	21.408	14.100	22.400	11.300	18.500	31.200	7.700
12.614	12.100	4.700	12.752	28.400	14.497	12.400	11.422	19.100	4.000	11.233	13.800	6.500	12.600	9.600	15.100	16.620	15.300	19.500	9.000	24.900	14.500	15.100
11.245	11.500	21.100	11.368	2.500	12.923	9.900	10.183	6.400	10.700	10.014	4.600	9.600	8.700	5.500	5.100	14.816	7.100	4.700	4.000	16.100	29.300	8.700
7.205	1.700	9.400	7.284	4.900	8.281	1.300	6.524	4.400	4.400	6.416	7.200	4.200	4.600	3.600	7.100	9.493	12.600	6.500	6.000	13.400	9.200	3.200
11.301	7.200	10.500	11.425	10.500	12.989	2.300	10.234	38.400	0.800	10.065	29.500	3.600	16.800	36.900	10.900	14.891	8.800	11.800	3.000	9.200	11.100	1.700
23.331	35.000	27.300	23.587	5.900	26.815	14.300	21.128	13.600	22.100	20.778	23.000	20.300	32.700	11.500	30.742	33.800	32.500	32.700	16.700	15.300	37.200	36
26.003	10.500	24.000	26.287	40.000	29.885	20.400	23.547	26.600	30.100	23.157	30.000	24.600	22.100	37.000	16.700	34.261	17.900	38.000	34.600	45.500	36.200	36.000
23.875	17.800	38.400	24.136	19.400	27.440	24.400	21.620	44.700	2.300	21.262	20.200	25.900	17.200	36.700	26.600	31.458	20.600	22.200	9.000	34.200	61.700	21.200

**METODO RAZON Q**

Se aplica a pares de estaciones, pero en este caso al tener una sola estación se procederá a realizar el promedio de las estaciones completas y se tomara como estación secundaria para la Completacion de datos. La razón (q) entre los valores mensuales, anuales o medios, tiende a ser constante. Así, si se tienen dos estaciones (A y B), se determina "q" como:  $q = \frac{\sum b_i}{\sum a_i}$ .

Donde: i: desde 1 hasta N; N: número total de datos de la serie; b<sub>i</sub>: dato i de la estación B; a<sub>i</sub>: dato i de la estación A. Por tanto, el valor b<sub>j</sub> faltante en la estación B, se obtiene como:  $b_j = q * a_j$

Realizado por Andres Ulloa Rodas. Basado en formulas de la Razón.

$\sum a_i$	Sumatoria de Promedios de los Registros Completos.
$\sum b_i$	Sumatoria de los Registros Incompletos
q	Relación entre $\sum b_i$ y $\sum a_i$
b <sub>j</sub>	Estimación de los datos faltantes en el registro

$$q = \frac{\sum b_i}{\sum a_i} \quad b_j = q * a_j$$

(1) DATOS DE ESTACIONES COMPLETAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H
1	3.5	11.2	22		7	24.6	5.8		32	5.3	16.7	10.5		15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	22.1	
2	6.5	9	44.1		24.8	65.7	32.8		22.8	41.8	34.7	27.3		17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1		21
3	5.4	0.5	21.3		52.8	29.4	10		43.1	22.2	21.6	38.6		43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5		43.3
4	15.5	24.1	22.5		11.6	40.9	16		29.6	19.6	15.9	19.2		19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1		31.4
5	6.9	14.5	9.6		18.5	8.6	19.3		7.1	11	8.9	25.4		28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7		20.5
6	17.3	4.9	13		15.1	8.5	15.1		11.5	9.3	15	27.6		23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8		0.01
7	11.4	2	11.1		11.2	3.4	6		22.7	16.9	20.2	18.9		7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4		15.6
8	11.4	6.6	4.7		11.1	6.1	13		31.8	13.4	3.7	9		5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4		7.8
9	17.1	12.2	7.8		9.2	11.4	14		6.5	13.2	12.6	9		17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2		0.01
10	9.6	25.7	15.5		10.1	14.5	39.7		33.9	16	16.5	12.2		14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28		0.01
11	27	24.4	48		1.8	16.3	28.5		27.1	17.6	19.2	30.6		6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5		17
12	23.4	17.7	12.1		38.7	24.3	20.5		13.2	36.8	17.6	15.8		23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6		6.7
(1.3) Prom Mes	12.9166667	12.7333333	19.3083333		17.6583333	21.1416667	18.3916667		23.4416667	18.5916667	16.8833333	20.3416667		18.6083333	14.3916667	21.0166667	19.9333333	20.925	19.5166667	16.6083333	13.3083333		15.4525

(2) DATOS DE ESTACIONES INCOMPLETAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	Max 24H																						
1				26.3				18					7.5									36.8	
2				-				21.8					3.8									10.4	
3				9.6				104.7					27									10.8	
4				15.8				32.7					-									5.5	
5				11.7				9.1					5.8									9.7	
6				9.2				-					18.9									3.2	
7				13.9				11.3					6.6									-	
8				13.4				11.2					10.2									-	
9				9.8				11.4					15.5									-	
10				9.5				15.6					-									14.2	
11				10.6				8.5					25.4									23.7	
12				12.3				13.3					7.8									16.1	
(2.1) $\sum b_i$				142.1				257.6					128.5									130.4	
(2.2) q				0.636				1.153					0.575									0.584	

(3) ESTIMACION DE DATOS DE ESTACIONES INCOMPLETAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	Max 24H																						
1	3.5	11.2	22	13.496	7	24.6	5.8	24.465	32	5.3	16.7	10.5	12.204	15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	12.384	22.1
2	6.5	9	44.1	16.344	24.8	65.7	32.8	29.628	22.8	41.8	34.7	27.3	14.780	17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	14.998	21
3	5.4	0.5	21.3	14.980	52.8	29.4	10	27.155	43.1	22.2	21.6	38.6	13.546	43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	13.746	43.3
4	15.5	24.1	22.5	14.787	11.6	40.9	16	26.806	29.6	19.6	15.9	19.2	13.372	19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	13.570	31.4
5	6.9	14.5	9.6	10.386	18.5	8.6	19.3	18.828	7.1	11	8.9	25.4	9.392	28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	9.531	20.5
6	17.3	4.9	13	8.430	15.1	8.5	15.1	15.282	11.5	9.3	15	27.6	7.623	23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	7.736	0.01
7	11.4	2	11.1	6.852	11.2	3.4	6	12.421	22.7	16.9	20.2	18.9	6.196	7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4	6.288	15.6
8	11.4	6.6	4.7	4.753	11.1	6.1	13	8.616	31.8	13.4	3.7	9	4.298	5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4	4.362	7.8
9	17.1	12.2	7.8	7.472	9.2	11.4	14	13.546	6.5	13.2	12.6	9	6.757	17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2	6.857	0.01
10	9.6	25.7	15.5	13.119	10.1	14.5	39.7	23.783	33.9	16	16.5	12.2	11.864	14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	12.039	0.01
11	27	24.4	48	16.307	1.8	16.3	28.5	29.561	27.1	17.6	19.2	30.6	14.746	6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	14.964	17
12	23.4	17.7	12.1	15.174	38.7	24.3	20.5	27.508	13.2	36.8	17.6	15.8	13.722	23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6	13.925	6.7

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO RZON Q

1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	(1.1) A <sub>j</sub>	
Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Max 24H	Promedio	
	28.2	32.5		24.5		2.4		22	17.8		9	23.6	16.8	22.7	32.5		35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4	21.217	
	36.9	22.5		35.8		19.2		17.2	23.7		18.2	35.3	8.2	50.1	21.5		3.4	32	7.3	39	34.5	21.3	25.694	
	27.8	9.8		17.5		8.6		12.9	27.4		16.9	14.5	20.1	30.9	23.3		14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4	23.550	
	4.1	13.8		23.5		18.8		7.6	18.8		14.9	17.4	19.7	38.7	27.2		27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2	23.247	
	4.5	5.5		8.7		34.7		18.5	38.1		11.8	36	9	20.6	5.9		14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7	16.328	
	12.1	4.7		28.4		12.4		19.1	4		13.8	6.5	12.6	9.6	15.1		15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1	13.253	
	11.5	21.1		2.5		9.9		6.4	10.7		4.6	9.6	8.7	5.5	5.1		7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7	10.772	
	1.7	9.4		4.9		1.3		4.4	4.4		7.2	4.2	4.6	3.6	7.1		12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2	7.472	
	7.2	10.5		10.5		2.3		38.4	0.8		29.5	3.6	16.8	36.9	10.9		8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7	11.748	
	35	27.3		5.9		14.3		13.6	22.1		23	20.3	32.7	11.5	30.1		33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2	20.625	
	10.5	24		40		20.4		26.6	30.1		30	24.6	22.1	37	16.7		17.9	38	34.6	45.5	36.2	36	25.636	
	17.8	38.4		19.4		24.4		44.7	2.3		20.2	25.9	17.2	36.7	26.6		20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2	23.856	
	16.4416667	18.2916667		18.4666667		14.0583333		19.2833333	16.6833333		16.5916667	18.4583333	15.7083333	25.3166667	18.5		17.55	22.9333333	17.4083333	22.3083333	28.1	22.925	223.398	
																								(1.2) Σa <sub>i</sub>

1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Max 24H																							
0.01			23.8		19		39.1			20.9						27.1							
30.4			9.4		11.5		32			22.9						87.2							
11.8			17		31.6		-			34.8						11.1							
44.3			15.3		20.1		-			10.3						21.8							
27.3			10.6		-		27.6			24						7.7							
8.4			11.3		11		7.6			8.7						12.8							
-			-		20.2		8.9			15.9						3.7							
7.6			1.6		18.5		10.4			8.4						-							
6.6			33		8.5		10.5			32.4						14.1							
22.7			31.5		35.2		19.9			-						35.4							
18.1			26.2		29		10.4			-						21.5							
23			22.7		25.5		14.9			-						21.4							
200.21			202.4		230.1		181.3			178.3						263.8							
0.896			0.906		1.030		0.812			0.798						1.181							

1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																						
19.014	28.2	32.5	19.222	24.5	21.853	2.4	17.219	22	17.8	16.934	9	23.6	16.8	22.7	32.5	25.054	35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4
23.027	36.9	22.5	23.279	35.8	26.465	19.2	20.852	17.2	23.7	20.507	18.2	35.3	8.2	50.1	21.5	30.341	3.4	32	7.3	39	34.5	21.3
21.106	27.8	9.8	21.336	17.5	24.257	8.6	19.112	12.9	27.4	18.796	16.9	14.5	20.1	30.9	23.3	27.809	14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4
20.834	4.1	13.8	21.062	23.5	23.945	18.8	18.866	7.6	18.8	18.554	14.9	17.4	19.7	38.7	27.2	27.452	27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2
14.633	4.5	5.5	14.793	8.7	16.818	34.7	13.251	18.5	38.1	13.032	11.8	36	9	20.6	5.9	19.281	14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7
11.877	12.1	4.7	12.007	28.4	13.651	12.4	10.756	19.1	4	10.578	13.8	6.5	12.6	9.6	15.1	15.650	15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1
9.654	11.5	21.1	9.760	2.5	11.095	9.9	8.742	6.4	10.7	8.598	4.6	9.6	8.7	5.5	5.1	12.720	7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7
6.697	1.7	9.4	6.770	4.9	7.696	1.3	6.064	4.4	4.4	5.964	7.2	4.2	4.6	3.6	7.1	8.824	12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2
10.528	7.2	10.5	10.643	10.5	12.100	2.3	9.534	38.4	0.8	9.376	29.5	3.6	16.8	36.9	10.9	13.872	8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7
18.484	35	27.3	18.687	5.9	21.244	14.3	16.739	13.6	22.1	16.462	23	20.3	32.7	11.5	30.1	24.355	33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2
22.975	10.5	24	23.226	40	26.405	20.4	20.805	26.6	30.1	20.461	30	24.6	22.1	37	16.7	30.272	17.9	38	34.6	45.5	36.2	36
21.379	17.8	38.4	21.613	19.4	24.571	24.4	19.360	44.7	2.3	19.040	20.2	25.9	17.2	36.7	26.6	28.170	20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO RAZON - NORMAL

**METODO DE LA RAZON - NORMAL**

RESUMEN Se aplica a pares de estaciones, pero en este caso al tener una sola estacion se procedera a realizar el promedio de las estaciones completas y se tomara como estacion secundaria para la completacion de datos. Considera promedios de precipitación anuales en periodos iguales, no normales. Sea Px la precipitación anual de una estación X para un año determinado y utilizando los datos de los promedio como Estación A: Px = Nx \* PA / NA. Nx: precipitación promedio de la estación X, para el mismo período que se obtiene la lluvia promedio de la estación A (NA). PA : valores correspondiente a Px, de la estacion A

Bibliografía Realizado por Andres Ulloa Rodas. Basado en formulas de la Razon-Normal

Px	Completacion de Datos Faltantes por Razon-Normal
Nx	Promedio de los datos mensuales de estaciones incompletas
PA	Valor Promedio de cada Mes de los datos de estaciones completas
NA	Promedio de PA

$$Px = Nx \times \frac{PA}{NA}$$

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
	Max 24H																								
1	3.5	11.2	22	26.3	7	24.6	5.8	18	32	5.3	16.7	10.5	7.5	15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	36.8	22.1	0.01	28.2
2	6.5	9	44.1	24.8	24.8	65.7	32.8	21.8	22.8	41.8	34.7	27.3	3.8	17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	10.4	21	30.4	36.9
3	5.4	0.5	21.3	9.6	52.8	29.4	10	104.7	43.1	22.2	21.6	38.6	27	43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	10.8	43.3	11.8	27.8
4	15.5	24.1	22.5	15.8	11.6	40.9	16	32.7	29.6	19.6	15.9	19.2	19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	5.5	31.4	44.3	4.1	
5	6.9	14.5	9.6	11.7	18.5	8.6	19.3	9.1	7.1	11	8.9	25.4	5.8	28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	9.7	20.5	27.3	4.5
6	17.3	4.9	13	9.2	15.1	8.5	15.1	11.5	9.3	15	27.6	18.9	18.9	23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	3.2	0.01	8.4	12.1
7	11.4	2	11.1	13.9	11.2	3.4	6	11.3	22.7	16.9	20.2	18.9	6.6	7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4	15.6	15.6	11.5	
8	11.4	6.6	4.7	13.4	11.1	6.1	13	11.2	31.8	13.4	3.7	9	10.2	5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4	7.8	7.6	1.7	
9	17.1	12.2	7.8	9.8	9.2	11.4	14	11.4	6.5	13.2	12.6	9	15.5	17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2	0.01	6.6	7.2	
10	9.6	25.7	15.5	9.5	10.1	14.5	39.7	15.6	33.9	16	16.5	12.2	14.6	14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	0.01	22.7	35	
11	27	24.4	48	10.6	1.8	16.3	28.5	8.5	27.1	17.6	19.2	30.6	25.4	6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	23.7	17	18.1	10.5
12	23.4	17.7	12.1	12.3	38.7	24.3	20.5	13.3	13.2	36.8	17.6	15.8	7.8	23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6	16.1	6.7	23	17.8

(1) DATOS DE ESTACIONES COMPLETAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
	Max 24H																								
1	3.5	11.2	22		7	24.6	5.8		32	5.3	16.7	10.5		15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4		22.1		28.2
2	6.5	9	44.1		24.8	65.7	32.8		22.8	41.8	34.7	27.3		17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1		21		36.9
3	5.4	0.5	21.3		52.8	29.4	10		43.1	22.2	21.6	38.6		43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5		43.3		27.8
4	15.5	24.1	22.5		11.6	40.9	16		29.6	19.6	15.9	19.2		19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1		31.4		4.1
5	6.9	14.5	9.6		18.5	8.6	19.3		7.1	11	8.9	25.4		28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7		20.5		4.5
6	17.3	4.9	13		15.1	8.5	15.1		11.5	9.3	15	27.6		23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8		0.01		12.1
7	11.4	2	11.1		11.2	3.4	6		22.7	16.9	20.2	18.9		7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4		15.6		11.5
8	11.4	6.6	4.7		11.1	6.1	13		31.8	13.4	3.7	9		5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4		7.8		1.7
9	17.1	12.2	7.8		9.2	11.4	14		6.5	13.2	12.6	9		17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2		0.01		7.2
10	9.6	25.7	15.5		10.1	14.5	39.7		33.9	16	16.5	12.2		14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28		0.01		35
11	27	24.4	48		1.8	16.3	28.5		27.1	17.6	19.2	30.6		6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5		17		10.5
12	23.4	17.7	12.1		38.7	24.3	20.5		13.2	36.8	17.6	15.8		23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6		6.7		17.8

(2) DATOS DE ESTACIONES INCOMPLETAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
	Max 24H																								
1				26.3				18					7.5									36.8		0.01	
2								21.8					3.8									10.4		30.4	
3				9.6				104.7					27									10.8		11.8	
4				15.8				32.7														5.5		44.3	
5				11.7				9.1					5.8									9.7		27.3	
6				9.2									18.9									3.2		8.4	
7				13.9				11.3					6.6												
8				13.4				11.2					10.2												7.6
9				9.8				11.4					15.5												6.6
10				9.5				15.6														14.2		22.7	
11				10.6				8.5					25.4									23.7		18.1	
12				12.3				13.3					7.8									16.1		23	
Nx				12.918				23.418					12.850									14.489		18.201	

(3) DATOS DE ESTACIONES COMPLETADAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
	Max 24H																								
1	3.5	11.2	22	14.722	7	24.6	5.8	26.689	32	5.3	16.7	10.5	14.645	15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	16.513	22.1	20.743	28.2
2	6.5	9	44.1	17.830	24.8	65.7	32.8	32.322	22.8	41.8	34.7	27.3	17.736	17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	19.998	21	25.121	36.9
3	5.4	0.5	21.3	16.342	52.8	29.4	10	29.624	43.1	22.2	21.6	38.6	16.255	43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	18.329	43.3	23.024	27.8
4	15.5	24.1	22.5	16.131	11.6	40.9	16	29.243	29.6	19.6	15.9	19.2	16.046	19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	18.093	31.4	22.728	4.1
5	6.9	14.5	9.6	11.330	18.5	8.6	19.3	20.539	7.1	11	8.9	25.4	11.270	28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	12.708	20.5	15.963	4.5
6	17.3	4.9	13	9.196	15.1	8.5	15.1	16.671	11.5	9.3	15	27.6	9.148	23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	10.315	0.01	12.957	12.1
7	11.4	2	11.1	7.475	11.2	3.4	6	13.551	22.7	16.9	20.2	18.9	7.436	7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4	8.384	15.6	10.532	11.5
8	11.4	6.6	4.7	5.185	11.1	6.1	13	9.400	31.8	13.4	3.7	9	5.158	5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4	5.815	7.8	7.305	1.7
9	17.1	12.2	7.8	8.152	9.2	11.4	14	14.777	6.5	13.2	12.6	9	8.109	17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2	9.143	0.01	11.485	7.2
10	9.6	25.7	15.5	14.312	10.1	14.5	39.7	25.945	33.9	16	16.5	12.2	14.237	14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	16.052	0.01	20.165	35
11	27	24.4	48	17.789	1.8	16.3	28.5	32.248	27.1	17.6	19.2	30.6	17.695	6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	19.952	17	25.064	10.5
12	23.4	17.7	12.1	16.554	38.7	24.3	20.5	30.009	13.2	36.8															

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO RAZON - NORMAL

1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																				
32.5	23.8	24.5	19	2.4	39.1	22	17.8	20.9	9	23.6	16.8	22.7	32.5	27.1	35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4
22.5	9.4	35.8	11.5	19.2	32	17.2	23.7	22.9	18.2	35.3	8.2	50.1	21.5	87.2	3.4	32	7.3	39	34.5	21.3
9.8	17	17.5	31.6	8.6	-	12.9	27.4	34.8	16.9	14.5	20.1	30.9	23.3	11.1	14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4
13.8	15.3	23.5	20.1	18.8	-	7.6	18.8	10.3	14.9	17.4	19.7	38.7	27.2	21.8	27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2
5.5	10.6	8.7	-	34.7	27.6	18.5	38.1	24	11.8	36	9	20.6	5.9	7.7	14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7
4.7	11.3	28.4	11	12.4	7.6	19.1	4	8.7	13.8	6.5	12.6	9.6	15.1	12.8	15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1
21.1	-	2.5	20.2	9.9	8.9	6.4	10.7	15.9	4.6	9.6	8.7	5.5	5.1	3.7	7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7
9.4	1.6	4.9	18.5	1.3	10.4	4.4	4.4	8.4	7.2	4.2	4.6	3.6	7.1	-	12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2
10.5	33	10.5	8.5	2.3	10.5	38.4	0.8	32.4	29.5	3.6	16.8	36.9	10.9	14.1	8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7
27.3	31.5	5.9	35.2	14.3	19.9	13.6	22.1	-	23	20.3	32.7	11.5	30.1	35.4	33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2
24	26.2	40	29	20.4	10.4	26.6	30.1	-	30	24.6	22.1	37	16.7	21.5	17.9	38	34.6	45.5	36.2	36
38.4	22.7	19.4	25.5	24.4	14.9	44.7	2.3	-	20.2	25.9	17.2	36.7	26.6	21.4	20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2

1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	1.1	
Max 24H	PA																					
32.5		24.5		2.4		22	17.8		9	23.6	16.8	22.7	32.5		35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4	21.217	
22.5		35.8		19.2		17.2	23.7		18.2	35.3	8.2	50.1	21.5		3.4	32	7.3	39	34.5	21.3	25.694	
9.8		17.5		8.6		12.9	27.4		16.9	14.5	20.1	30.9	23.3		14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4	23.550	
13.8		23.5		18.8		7.6	18.8		14.9	17.4	19.7	38.7	27.2		27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2	23.247	
5.5		8.7		34.7		18.5	38.1		11.8	36	9	20.6	5.9		14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7	16.328	
4.7		28.4		12.4		19.1	4		13.8	6.5	12.6	9.6	15.1		15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1	13.253	
21.1		2.5		9.9		6.4	10.7		4.6	9.6	8.7	5.5	5.1		7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7	10.772	
9.4		4.9		1.3		4.4	4.4		7.2	4.2	4.6	3.6	7.1		12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2	7.472	
10.5		10.5		2.3		38.4	0.8		29.5	3.6	16.8	36.9	10.9		8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7	11.748	
27.3		5.9		14.3		13.6	22.1		23	20.3	32.7	11.5	30.1		33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2	20.625	
24		40		20.4		26.6	30.1		30	24.6	22.1	37	16.7		17.9	38	34.6	45.5	36.2	36	25.636	
38.4		19.4		24.4		44.7	2.3		20.2	25.9	17.2	36.7	26.6		20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2	23.856	
																						1.2 NA
																						18.617

1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																				
	23.8		19		39.1		17.8	20.9						27.1						
	9.4		11.5		32		23.7	22.9						87.2						
	17		31.6				27.4	34.8						11.1						
	15.3		20.1				18.8	10.3						21.8						
	10.6				27.6		38.1	24						7.7						
	11.3		11		7.6		4	8.7						12.8						
			20.2		8.9		10.7	15.9						3.7						
	1.6		18.5		10.4		4.4	8.4												
	33		8.5		10.5		38.4	32.4						14.1						
	31.5		35.2		19.9									35.4						
	26.2		29		10.4									21.5						
	22.7		25.5		14.9									21.4						
	18.400		20.918		18.130			19.811						23.982						

1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																				
32.5	20.970	24.5	23.840	2.4	20.662	22	17.8	22.578	9	23.6	16.8	22.7	32.5	27.331	35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4
22.5	25.396	35.8	28.871	19.2	25.023	17.2	23.7	27.343	18.2	35.3	8.2	50.1	21.5	33.100	3.4	32	7.3	39	34.5	21.3
9.8	23.276	17.5	26.462	8.6	22.935	12.9	27.4	25.061	16.9	14.5	20.1	30.9	23.3	30.337	14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4
13.8	22.977	23.5	26.121	18.8	22.640	7.6	18.8	24.739	14.9	17.4	19.7	38.7	27.2	29.947	27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2
5.5	16.138	8.7	18.346	34.7	15.901	18.5	38.1	17.376	11.8	36	9	20.6	5.9	21.033	14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7
4.7	13.099	28.4	14.892	12.4	12.907	19.1	4	14.103	13.8	6.5	12.6	9.6	15.1	17.073	15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1
21.1	10.647	2.5	12.104	9.9	10.491	6.4	10.7	11.463	4.6	9.6	8.7	5.5	5.1	13.877	7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7
9.4	7.385	4.9	8.396	1.3	7.277	4.4	4.4	7.952	7.2	4.2	4.6	3.6	7.1	9.626	12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2
10.5	11.611	10.5	13.200	2.3	11.441	38.4	0.8	12.501	29.5	3.6	16.8	36.9	10.9	15.133	8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7
27.3	20.385	5.9	23.175	14.3	20.086	13.6	22.1	21.949	23	20.3	32.7	11.5	30.1	26.570	33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2
24	25.338	40	28.806	20.4	24.966	26.6	30.1	27.281	30	24.6	22.1	37	16.7	33.024	17.9	38	34.6	45.5	36.2	36
38.4	23.578	19.4	26.805	24.4	23.232	44.7	2.3	25.386	20.2	25.9	17.2	36.7	26.6	30.731	20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO LINEAL

**METODO LINEAL**

RESUMEN Se aplica a pares de estaciones, pero en este caso al tener una sola estacion se procedera a realizar el promedio de las estaciones completas y se tomara como estacion secundaria para la completacion de datos. Se realizara la correlacion lineal del Año Faltante y el Promedio de Datos Completos. Se Sacara la ecuacion de correlacion y se aplicara para la completacion de Datos

Bibliografia Realizado por Andres Ulloa Rodas. Basado en el metodo de Correlacion Lineal Simple.  
[http://hidrologia.usal.es/practicas/correlacion/Correlacion\\_explicacion.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/correlacion/Correlacion_explicacion.pdf)

DATOS ORIGINALES

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
	Max 24H																							
1	3.5	11.2	22	26.3	7	24.6	5.8	18	32	5.3	16.7	10.5	7.5	15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	36.8	22.1	0.01
2	6.5	9	44.1	24.8	65.7	32.8	21.8	22.8	41.8	34.7	27.3	3.8	17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	10.4	21	30.4	
3	5.4	0.5	21.3	9.6	52.8	29.4	10	104.7	43.1	22.2	21.6	38.6	27	43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	10.8	43.3	11.8
4	15.5	24.1	22.5	15.8	11.6	40.9	16	32.7	29.6	19.6	15.9	19.2	19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	5.5	31.4	44.3	
5	6.9	14.5	9.6	11.7	18.5	8.6	19.3	9.1	7.1	11	8.9	25.4	5.8	28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	9.7	20.5	27.3
6	17.3	4.9	13	9.2	15.1	8.5	15.1	11.5	9.3	15	27.6	18.9	23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	3.2	35.9	0.01	8.4
7	11.4	2	11.1	13.9	11.2	3.4	6	11.3	22.7	16.9	20.2	18.9	6.6	7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4	15.6	7.6	
8	11.4	6.6	4.7	13.4	11.1	6.1	13	11.2	31.8	13.4	3.7	9	10.2	5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4	7.8	6.6	
9	17.1	12.2	7.8	9.8	9.2	11.4	14	11.4	6.5	13.2	12.6	9	15.5	17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2	0.01	6.6	
10	9.6	25.7	15.5	9.5	10.1	14.5	39.7	15.6	33.9	16	16.5	12.2	14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	14.2	0.01	22.7	
11	27	24.4	48	10.6	1.8	16.3	28.5	8.5	27.1	17.6	19.2	30.6	25.4	6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	23.7	17	18.1
12	23.4	17.7	12.1	12.3	38.7	24.3	20.5	13.3	13.2	36.8	17.6	15.8	7.8	23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6	16.1	6.7	23

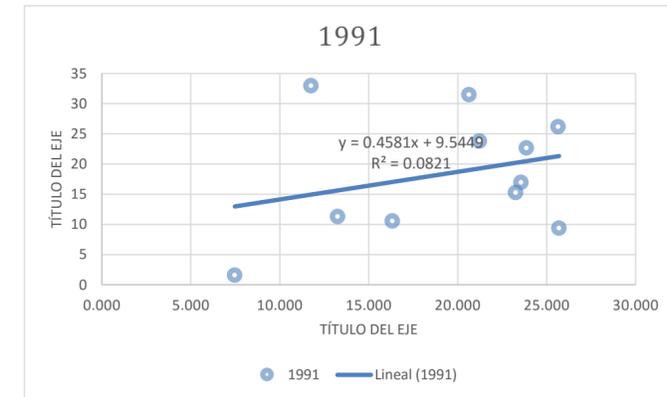
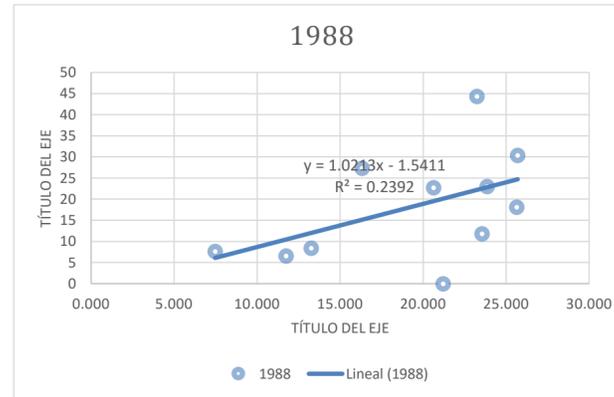
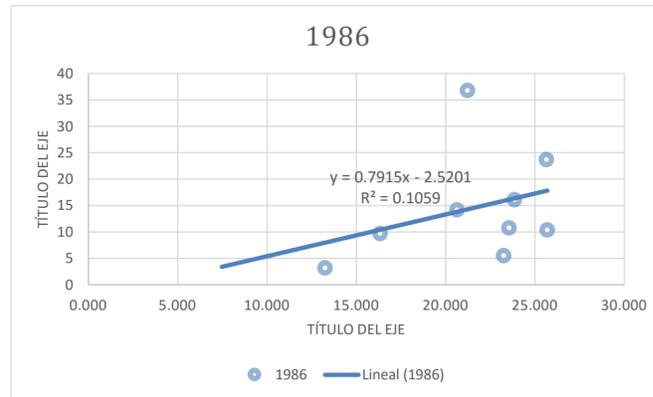
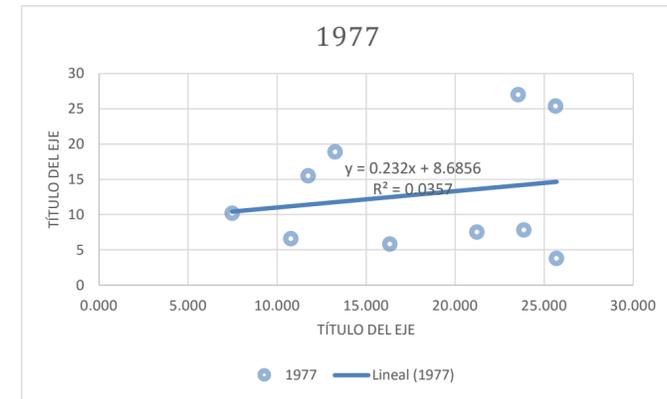
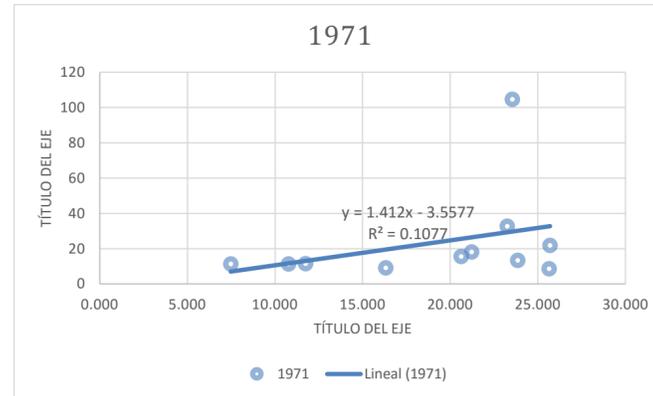
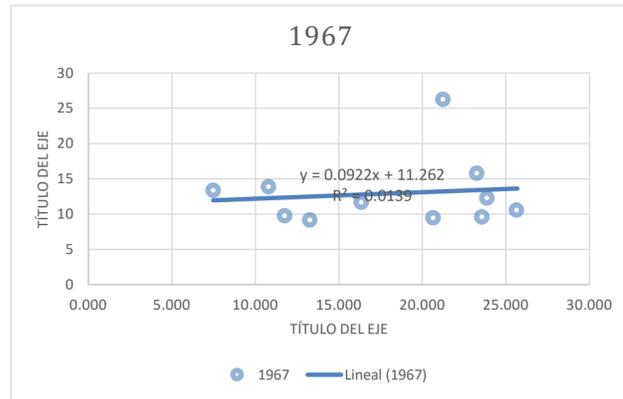
1) DATOS DE ESTACIONES COMPLETAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
	Max 24H																							
1	3.5	11.2	22	7	24.6	5.8	32	5.3	16.7	10.5	15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	36.8	22.1	0.01			
2	6.5	9	44.1	24.8	65.7	32.8	22.8	41.8	34.7	27.3	17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	10.4	21	30.4			
3	5.4	0.5	21.3	9.6	52.8	29.4	10	104.7	43.1	22.2	21.6	38.6	27	43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	10.8	43.3	11.8
4	15.5	24.1	22.5	15.8	11.6	40.9	16	32.7	29.6	19.6	15.9	19.2	19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	5.5	31.4	44.3	
5	6.9	14.5	9.6	11.7	18.5	8.6	19.3	9.1	7.1	11	8.9	25.4	5.8	28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	9.7	20.5	27.3
6	17.3	4.9	13	9.2	15.1	8.5	15.1	11.5	9.3	15	27.6	18.9	23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	3.2	35.9	0.01	8.4
7	11.4	2	11.1	13.9	11.2	3.4	6	11.3	22.7	16.9	20.2	18.9	6.6	7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4	15.6	7.6	
8	11.4	6.6	4.7	13.4	11.1	6.1	13	11.2	31.8	13.4	3.7	9	10.2	5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4	7.8	6.6	
9	17.1	12.2	7.8	9.8	9.2	11.4	14	11.4	6.5	13.2	12.6	9	15.5	17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2	0.01	6.6	
10	9.6	25.7	15.5	9.5	10.1	14.5	39.7	15.6	33.9	16	16.5	12.2	14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	14.2	0.01	22.7	
11	27	24.4	48	10.6	1.8	16.3	28.5	8.5	27.1	17.6	19.2	30.6	25.4	6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	23.7	17	18.1
12	23.4	17.7	12.1	12.3	38.7	24.3	20.5	13.3	13.2	36.8	17.6	15.8	7.8	23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6	16.1	6.7	23

1) DATOS DE ESTACIONES INCOMPLETAS

AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
	Max 24H																							
1				26.3				18					7.5									36.8		0.01
2								21.8					3.8									10.4		30.4
3				9.6				104.7					27									10.8		11.8
4				15.8				32.7														5.5		44.3
5				11.7				9.1					5.8									9.7		27.3
6				9.2									18.9									3.2		8.4
7				13.9				11.3					6.6											
8				13.4				11.2					10.2											7.6
9				9.8				11.4					15.5											6.6
10				9.5				15.6															14.2	22.7
11				10.6				8.5					25.4										23.7	18.1
12				12.3				13.3					7.8									16.1		23

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO LINEAL



AÑO / Mes	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
	Max 24H																							
1	3.5	11.2	22	13.218	7	24.6	5.8	26.400	32	5.3	16.7	10.5	13.608	15.6	14	26.5	34.7	38.4	24.2	13.5	25.4	14.273	22.1	20.127
2	6.5	9	44.1	13.631	24.8	65.7	32.8	32.723	22.8	41.8	34.7	27.3	14.647	17.4	15.8	30	23.8	40.3	20.5	16.5	4.1	17.817	21	24.701
3	5.4	0.5	21.3	13.433	52.8	29.4	10	29.695	43.1	22.2	21.6	38.6	14.149	43.5	17.5	18.7	47.2	10.4	30.9	20	13.5	16.120	43.3	22.511
4	15.5	24.1	22.5	13.405	11.6	40.9	16	29.267	29.6	11.6	15.9	19.2	14.079	19.7	24.9	24	6.7	22.7	48.4	25.6	19.1	15.880	31.4	22.201
5	6.9	14.5	9.6	12.767	18.5	8.6	19.3	19.497	7.1	11	8.9	25.4	12.474	28.8	15	9.5	6.7	20.6	17.5	27.2	13.7	10.403	20.5	15.134
6	17.3	4.9	13	12.484	15.1	8.5	15.1	15.156	11.5	9.3	15	27.6	11.760	23.1	5.1	8	7.4	35.9	6.1	10.8	6.8	7.970	0.01	11.994
7	11.4	2	11.1	12.255	11.2	3.4	6	11.653	22.7	16.9	20.2	18.9	11.185	7.2	5.9	9.9	22.4	15.3	3.6	12.2	6.4	6.006	15.6	9.461
8	11.4	6.6	4.7	11.951	11.1	6.1	13	6.993	31.8	13.4	3.7	9	10.419	5.7	5	8.3	12.1	1.4	3.2	5.6	5.4	3.394	7.8	6.090
9	17.1	12.2	7.8	12.345	9.2	11.4	14	13.030	6.5	13.2	12.6	9	11.411	17.7	5.5	10.5	28.4	4.8	7.2	7.6	15.2	6.778	0.01	10.457
10	9.6	25.7	15.5	13.164	10.1	14.5	39.7	25.565	33.9	16	16.5	12.2	13.471	14.6	3	26.8	14.2	17.6	20.3	20.3	28	13.805	0.01	19.523
11	27	24.4	48	13.626	1.8	16.3	28.5	32.640	27.1	17.6	19.2	30.6	14.633	6.2	21.1	50.2	9	19.8	26.1	31.3	11.5	17.771	17	24.641
12	23.4	17.7	12.1	13.461	38.7	24.3	20.5	30.126	13.2	36.8	17.6	15.8	14.220	23.8	39.9	29.8	26.6	23.9	26.2	8.7	10.6	16.362	6.7	22.823

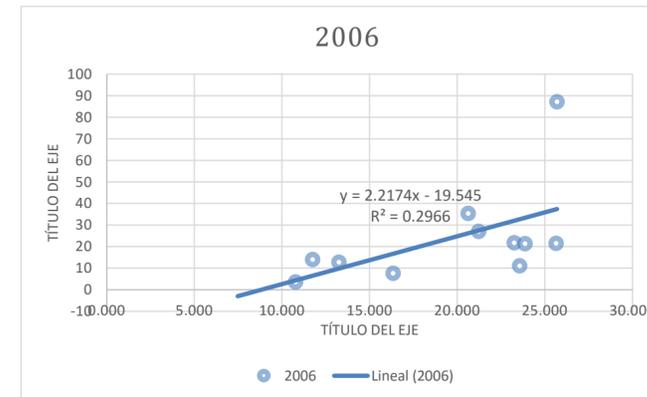
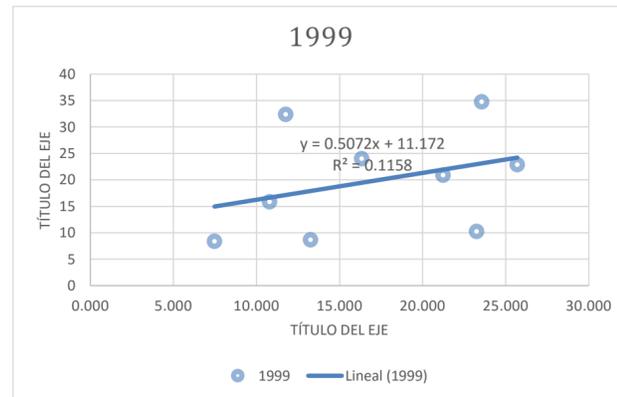
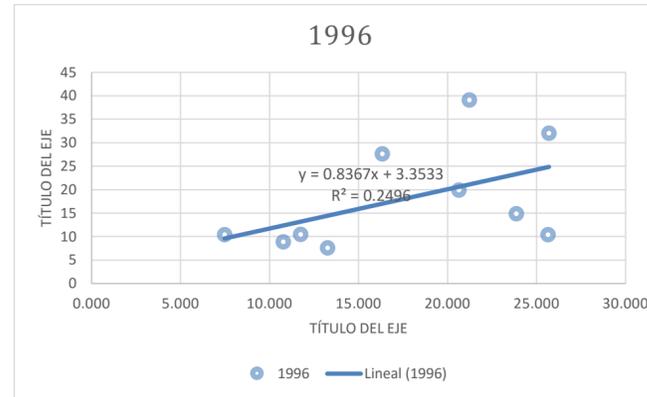
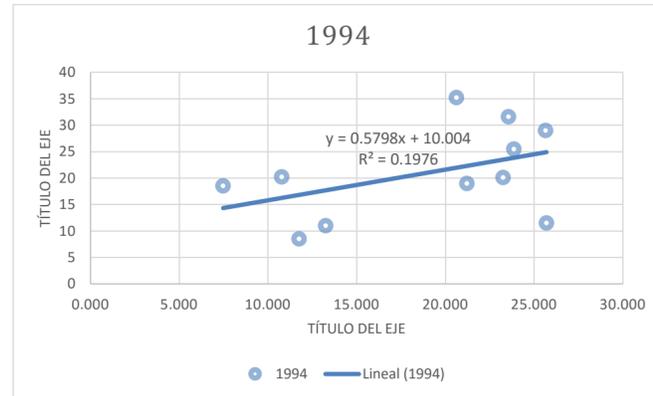
6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO LINEAL

1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																					
28.2	32.5	23.8	24.5	19	2.4	39.1	22	17.8	20.9	9	23.6	16.8	22.7	32.5	27.1	35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4
36.9	22.5	9.4	35.8	11.5	19.2	32	17.2	23.7	22.9	18.2	35.3	8.2	50.1	21.5	87.2	3.4	32	7.3	39	34.5	21.3
27.8	9.8	17	17.5	31.6	8.6	12.9	27.4	34.8	16.9	14.5	20.1	30.9	23.3	11.1	14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4	
4.1	13.8	15.3	23.5	20.1	18.8	7.6	18.8	10.3	14.9	17.4	19.7	38.7	27.2	21.8	27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2	
4.5	5.5	10.6	8.7	34.7	27.6	18.5	38.1	24	11.8	36	9	20.6	5.9	7.7	14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7	
12.1	4.7	11.3	28.4	11	12.4	7.6	19.1	4	8.7	13.8	6.5	12.6	9.6	15.1	12.8	15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1
11.5	21.1	2.5	20.2	9.9	8.9	6.4	10.7	15.9	4.6	9.6	8.7	5.5	5.1	3.7	7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7	
1.7	9.4	1.6	4.9	18.5	1.3	10.4	4.4	4.4	8.4	7.2	4.2	4.6	3.6	7.1	12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2	
7.2	10.5	33	10.5	8.5	2.3	10.5	38.4	0.8	32.4	29.5	3.6	16.8	36.9	10.9	14.1	8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7
35	27.3	31.5	5.9	35.2	14.3	19.9	13.6	22.1	23	20.3	32.7	11.5	30.1	35.4	33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2	
10.5	24	26.2	40	29	20.4	10.4	26.6	30.1	30	24.6	22.1	37	16.7	21.5	17.9	38	34.6	45.5	36.2	36	
17.8	38.4	22.7	19.4	25.5	24.4	14.9	44.7	2.3	20.2	25.9	17.2	36.7	26.6	21.4	20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2	

1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	1.1
Max 24H	EST A																					
28.2	32.5		24.5		2.4		22	17.8		9	23.6	16.8	22.7	32.5		35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4	21.217
36.9	22.5		35.8		19.2		17.2	23.7		18.2	35.3	8.2	50.1	21.5		3.4	32	7.3	39	34.5	21.3	25.694
27.8	9.8		17.5		8.6		12.9	27.4		16.9	14.5	20.1	30.9	23.3		14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4	23.550
4.1	13.8		23.5		18.8		7.6	18.8		14.9	17.4	19.7	38.7	27.2		27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2	23.247
4.5	5.5		8.7		34.7		18.5	38.1		11.8	36	9	20.6	5.9		14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7	16.328
12.1	4.7		28.4		12.4		19.1	4		13.8	6.5	12.6	9.6	15.1		15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1	13.253
11.5	21.1		2.5		9.9		6.4	10.7		4.6	9.6	8.7	5.5	5.1		7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7	10.772
1.7	9.4		4.9		1.3		4.4	4.4		7.2	4.2	4.6	3.6	7.1		12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2	7.472
7.2	10.5		10.5		2.3		38.4	0.8		29.5	3.6	16.8	36.9	10.9		8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7	11.748
35	27.3		5.9		14.3		13.6	22.1		23	20.3	32.7	11.5	30.1		33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2	20.625
10.5	24		40		20.4		26.6	30.1		30	24.6	22.1	37	16.7		17.9	38	34.6	45.5	36.2	36	25.636
17.8	38.4		19.4		24.4		44.7	2.3		20.2	25.9	17.2	36.7	26.6		20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2	23.856

1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																					
		23.8		19		39.1			20.9						27.1						
		9.4		11.5		32			22.9						87.2						
		17		31.6					34.8						11.1						
		15.3		20.1					10.3						21.8						
		10.6				27.6			24						7.7						
		11.3		11		7.6			8.7						12.8						
				20.2		8.9			15.9						3.7						
		1.6		18.5		10.4			8.4												
		33		8.5		10.5			32.4						14.1						
		31.5		35.2		19.9									35.4						
		26.2		29		10.4									21.5						
		22.7		25.5		14.9									21.4						

6.2. ANEXO 2. AUTO CORRELACION DE DATOS DE PRECIPITACION  
METODO LINEAL



1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max 24H																					
28.2	32.5	19.264	24.5	19.264	2.4	21.105	22	17.8	21.933	9	23.6	16.8	22.7	32.5	27.501	35.9	30.3	36.5	11.8	36.9	27.4
36.9	22.5	19.264	35.8	21.316	19.2	24.852	17.2	23.7	24.204	18.2	35.3	8.2	50.1	21.5	37.430	3.4	32	7.3	39	34.5	21.3
27.8	9.8	19.264	17.5	20.333	8.6	23.058	12.9	27.4	23.117	16.9	14.5	20.1	30.9	23.3	32.675	14	27.8	16.2	7.2	34.6	48.4
4.1	13.8	19.264	23.5	20.194	18.8	22.804	7.6	18.8	22.963	14.9	17.4	19.7	38.7	27.2	32.003	27.1	27.5	39.3	31.2	22.7	47.2
4.5	5.5	19.264	8.7	17.025	34.7	17.015	18.5	38.1	19.453	11.8	36	9	20.6	5.9	16.660	14.1	22.4	11.3	18.5	31.2	7.7
12.1	4.7	19.264	28.4	15.616	12.4	14.442	19.1	4	17.894	13.8	6.5	12.6	9.6	15.1	9.842	15.3	19.5	9	24.9	14.5	15.1
11.5	21.1	19.264	2.5	14.480	9.9	12.366	6.4	10.7	16.636	4.6	9.6	8.7	5.5	5.1	4.341	7.1	4.7	4	16.1	29.3	8.7
1.7	9.4	19.264	4.9	12.968	1.3	9.605	4.4	4.4	14.962	7.2	4.2	4.6	3.6	7.1	-2.976	12.6	6.5	6	13.4	9.2	3.2
7.2	10.5	19.264	10.5	14.926	2.3	13.182	38.4	0.8	17.130	29.5	3.6	16.8	36.9	10.9	6.504	8.8	11.8	3	9.2	11.1	1.7
35	27.3	19.264	5.9	18.993	14.3	20.610	13.6	22.1	21.633	23	20.3	32.7	11.5	30.1	26.189	33.8	32.5	32.7	16.7	15.3	37.2
10.5	24	19.264	40	21.289	20.4	24.803	26.6	30.1	24.175	30	24.6	22.1	37	16.7	37.301	17.9	38	34.6	45.5	36.2	36
17.8	38.4	19.264	19.4	20.473	24.4	23.313	44.7	2.3	23.272	20.2	25.9	17.2	36.7	26.6	33.352	20.6	22.2	9	34.2	61.7	21.2



## 6.3. ANEXO 3.

### ANÁLISIS Y PRUEBAS DE DATOS CORRELACIONADOS.

**Análisis de Resultados 1:** Se procederá a revisar los datos faltantes de los años incompletos y se observará la variación de estos, según los métodos empleados.

## ESTACIONES INCOMPLETAS

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.3	18	7.5	36.8	0.01	23.8	19	39.1	20.9	27.1
Febrero	-	21.8	3.8	10.4	30.4	9.4	11.5	32	22.9	87.2
Marzo	9.6	104.7	27	10.8	11.8	17	31.6	-	34.8	11.1
Abril	15.8	32.7	-	5.5	44.3	15.3	20.1	-	10.3	21.8
Mayo	11.7	9.1	5.8	9.7	27.3	10.6	-	27.6	24	7.7
Junio	9.2	-	18.9	3.2	8.4	11.3	11	7.6	8.7	12.8
Julio	13.9	11.3	6.6	-	-	-	20.2	8.9	15.9	3.7
Agosto	13.4	11.2	10.2	-	7.6	1.6	18.5	10.4	8.4	-
Septiembre	9.8	11.4	15.5	-	6.6	33	8.5	10.5	32.4	14.1
Octubre	9.5	15.6	-	14.2	22.7	31.5	35.2	19.9	-	35.4
Noviembre	10.6	8.5	25.4	23.7	18.1	26.2	29	10.4	-	21.5
Diciembre	12.3	13.3	7.8	16.1	23	22.7	25.5	14.9	-	21.4
n	11	11	10	9	11	11	11	10	9	11

## Metodo Racional

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	13.355	24.211	12.077	12.256	18.817	19.023	21.626	17.040	16.758	24.794
Febrero	17.919	32.484	16.204	16.444	25.247	25.523	29.016	22.863	22.484	33.266
Marzo	16.472	29.860	14.895	15.115	23.207	23.461	26.672	21.015	20.668	30.578
Abril	18.832	34.139	17.030	17.282	26.534	26.824	30.495	24.027	23.630	34.961
Mayo	11.532	20.905	10.428	10.582	16.247	16.425	18.673	14.713	14.469	21.408
Junio	8.953	16.229	8.096	8.216	12.614	12.752	14.497	11.422	11.233	16.620
Julio	7.981	14.468	7.217	7.324	11.245	11.368	12.923	10.183	10.014	14.816
Agosto	5.114	9.270	4.624	4.693	7.205	7.284	8.281	6.524	6.416	9.493
Septiembre	8.021	14.541	7.254	7.361	11.301	11.425	12.989	10.234	10.065	14.891
Octubre	16.560	30.019	14.975	15.196	23.331	23.587	26.815	21.128	20.778	30.742
Noviembre	18.455	33.456	16.689	16.936	26.003	26.287	29.885	23.547	23.157	34.261
Diciembre	16.945	30.719	15.324	15.550	23.875	24.136	27.440	21.620	21.262	31.458

## METODO DE PROMEDIOS

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	16.200	16.925	14.200	21.300	27.600	28.400	13.450	14.067	18.100	30.350
Febrero	35.900	40.775	23.800	15.525	26.800	31.733	27.500	20.033	23.600	26.750
Marzo	26.000	26.175	30.300	26.925	26.967	18.367	13.050	16.300	17.925	24.000
Abril	24.775	26.525	19.925	31.125	16.433	13.800	21.150	15.067	14.675	30.125
Mayo	12.800	11.500	19.525	19.725	10.167	6.233	21.700	30.433	26.100	15.750
Junio	10.375	11.100	17.700	5.928	5.603	15.067	20.400	11.833	10.850	14.875
Julio	6.925	12.250	13.050	9.450	16.067	11.700	6.200	9.000	7.825	5.600
Agosto	7.125	16.075	5.850	5.500	6.300	5.333	3.100	3.367	5.050	7.450
Septiembre	10.150	11.275	11.200	7.503	5.903	9.400	6.400	13.833	18.075	17.100
Octubre	16.450	26.025	11.575	17.153	20.770	22.733	10.100	16.667	19.750	26.975
Noviembre	22.625	22.375	19.275	21.475	17.167	24.833	30.200	25.700	27.825	27.400
Diciembre	23.200	23.700	24.275	13.050	20.967	25.200	21.900	23.800	23.275	26.525

## METODO RAZON Q

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	13.496	24.465	12.204	12.384	19.014	19.222	21.853	17.219	16.934	25.054
Febrero	16.344	29.628	14.780	14.998	23.027	23.279	26.465	20.852	20.507	30.341
Marzo	14.980	27.155	13.546	13.746	21.106	21.336	24.257	19.112	18.796	27.809
Abril	14.787	26.806	13.372	13.570	20.834	21.062	23.945	18.866	18.554	27.452
Mayo	10.386	18.828	9.392	9.531	14.633	14.793	16.818	13.251	13.032	19.281
Junio	8.430	15.282	7.623	7.736	11.877	12.007	13.651	10.756	10.578	15.650
Julio	6.852	12.421	6.196	6.288	9.654	9.760	11.095	8.742	8.598	12.720
Agosto	4.753	8.616	4.298	4.362	6.697	6.770	7.696	6.064	5.964	8.824
Septiembre	7.472	13.546	6.757	6.857	10.528	10.643	12.100	9.534	9.376	13.872
Octubre	13.119	23.783	11.864	12.039	18.484	18.687	21.244	16.739	16.462	24.355
Noviembre	16.307	29.561	14.746	14.964	22.975	23.226	26.405	20.805	20.461	30.272
Diciembre	15.174	27.508	13.722	13.925	21.379	21.613	24.571	19.360	19.040	28.170

## METODO DE LA RAZON - NORMAL

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	14.722	26.689	14.645	16.513	20.743	20.970	23.840	20.662	22.578	27.331
Febrero	17.830	32.322	17.736	19.998	25.121	25.396	28.871	25.023	27.343	33.100
Marzo	16.342	29.624	16.255	18.329	23.024	23.276	26.462	22.935	25.061	30.337
Abril	16.131	29.243	16.046	18.093	22.728	22.977	26.121	22.640	24.739	29.947
Mayo	11.330	20.539	11.270	12.708	15.963	16.138	18.346	15.901	17.376	21.033
Junio	9.196	16.671	9.148	10.315	12.957	13.099	14.892	12.907	14.103	17.073
Julio	7.475	13.551	7.436	8.384	10.532	10.647	12.104	10.491	11.463	13.877
Agosto	5.185	9.400	5.158	5.815	7.305	7.385	8.396	7.277	7.952	9.626
Septiembre	8.152	14.777	8.109	9.143	11.485	11.611	13.200	11.441	12.501	15.133
Octubre	14.312	25.945	14.237	16.052	20.165	20.385	23.175	20.086	21.949	26.570
Noviembre	17.789	32.248	17.695	19.952	25.064	25.338	28.806	24.966	27.281	33.024
Diciembre	16.554	30.009	16.466	18.566	23.323	23.578	26.805	23.232	25.386	30.731

## METODO LINEAL

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	13.218	26.400	13.608	14.273	20.127	19.264	19.264	21.105	21.933	27.501
Febrero	13.631	32.723	14.647	17.817	24.701	19.264	21.316	24.852	24.204	37.430
Marzo	13.433	29.695	14.149	16.120	22.511	19.264	20.333	23.058	23.117	32.675
Abril	13.405	29.267	14.079	15.880	22.201	19.264	20.194	22.804	22.963	32.003
Mayo	12.767	19.497	12.474	10.403	15.134	19.264	17.025	17.015	19.453	16.660
Junio	12.484	15.156	11.760	7.970	11.994	19.264	15.616	14.442	17.894	9.842
Julio	12.255	11.653	11.185	6.006	9.461	19.264	14.480	12.366	16.636	4.341
Agosto	11.951	6.993	10.419	3.394	6.090	19.264	12.968	9.605	14.962	-2.976
Septiembre	12.345	13.030	11.411	6.778	10.457	19.264	14.926	13.182	17.130	6.504
Octubre	13.164	25.565	13.471	13.805	19.523	19.264	18.993	20.610	21.633	26.189
Noviembre	13.626	32.640	14.633	17.771	24.641	19.264	21.289	24.803	24.175	37.301
Diciembre	13.461	30.126	14.220	16.362	22.823	19.264	20.473	23.313	23.272	33.352

Metodo Racional	Coeficiente R2	RMSE raiz del error cuadratic		MAPE Error Porcentual Abs	
		$\sum(y_1-y_2)^2$	RMSE	$ y_1-y_2  /  y_1 $	MAPE
1967	0.1%	464.05	6.50	452.88%	41%
1971	9.4%	7052.99	25.32	878.94%	80%
1977	4.4%	691.46	8.32	817.22%	82%
1986	1.2%	869.36	9.83	583.78%	65%
1988	39.3%	1051.82	9.78	188441.59%	17131%
1991	9.0%	1055.85	9.80	825.12%	75%
1994	25.9%	710.68	8.04	443.79%	40%
1996	17.3%	987.07	9.94	413.85%	41%
1999	6.5%	1029.44	10.69	390.06%	43%
2006	25.2%	4079.22	19.26	939.64%	85%
Coef R2 Max	39.3%	RMSE Mim		RMSE Mim	
		6.495		40%	

Metodo Promedios	Coeficiente R2	RMSE raiz del error cuadratic		MAPE Error Porcentual Abs	
		$\sum(y_1-y_2)^2$	RMSE	$ y_1-y_2  /  y_1 $	MAPE
1967	0.0%	853.97	8.81	664%	60%
1971	10.4%	7005.31	25.24	575%	52%
1977	8.6%	1033.55	10.17	1274%	127%
1986	1.9%	1314.08	12.08	944%	105%
1988	2.5%	2093.03	13.79	276249%	25114%
1991	10.6%	1213.18	10.50	698%	63%
1994	0.2%	1802.35	12.80	585%	53%
1996	11.3%	1180.16	10.86	491%	49%
1999	41.0%	602.90	8.18	276%	31%
2006	23.8%	4114.26	19.34	504%	46%
Coef R2 Max	41.0%	RMSE Mim		RMSE Mim	
		8.185		31%	

Metodo Razon Q	Coeficiente R2	RMSE raiz del error cuadratic		MAPE Error Porcentual Abs	
		$\sum(y_1-y_2)^2$	RMSE	$ y_1-y_2  /  y_1 $	MAPE
1967	1.4%	380.03	5.88	385%	35%
1971	10.8%	6970.52	25.17	730%	66%
1977	3.6%	723.76	8.51	761%	76%
1986	10.6%	797.39	9.41	494%	55%
1988	23.9%	1285.72	10.81	190412%	17310%
1991	8.2%	984.43	9.46	724%	66%
1994	19.8%	722.77	8.11	410%	37%
1996	25.0%	976.83	9.88	383%	38%
1999	11.6%	1058.92	10.85	369%	41%
2006	29.7%	4016.65	19.11	771%	70%
Coef R2 Max	29.7%	RMSE Mim		RMSE Mim	
		5.878		35%	

Metodo Razon - Normal	Coeficiente R2	RMSE raiz del error cuadratic		MAPE Error Porcentual Abs	
		$\sum(y_1-y_2)^2$	RMSE	$ y_1-y_2  /  y_1 $	MAPE
1967	1.4%	384.15	5.91	397%	36%
1971	10.8%	6935.28	25.11	841%	76%
1977	3.6%	700.94	8.37	899%	90%
1986	10.6%	802.18	9.44	744%	83%
1988	23.9%	1277.32	10.78	207716%	18883%
1991	8.2%	1012.11	9.59	806%	73%
1994	19.8%	739.04	8.20	448%	41%
1996	25.0%	848.46	9.21	435%	43%
1999	11.6%	814.81	9.51	380%	42%
2006	29.7%	3961.87	18.98	885%	80%
Coef R2 Max	29.7%	RMSE Mim		RMSE Mim	
		5.910		36%	

Metodo Racional	Coeficiente R2	RMSE raiz del error cuadratic		MAPE Error Porcentual Abs	
		$\sum(y_1-y_2)^2$	RMSE	$ y_1-y_2  /  y_1 $	MAPE
1967	1.4%	238.69	4.66	275%	25%
1971	10.8%	6921.19	25.08	823%	75%
1977	3.6%	610.54	7.81	742%	74%
1986	10.6%	757.15	9.17	556%	62%
1988	23.9%	1271.24	10.75	201551%	18323%
1991	0.0%	987.54	9.48	1542%	140%
1994	19.8%	696.69	7.96	391%	36%
1996	25.0%	832.35	9.12	467%	47%
1999	11.6%	681.58	8.70	422%	47%
2006	29.7%	3671.30	18.27	666%	61%
Coef R2 Max	29.7%	RMSE Mim		RMSE Mim	
		4.658		25%	



## 6.4. ANEXO 4.

### RESULTADOS DE LOS DATOS CORRELACIONADOS.

**Resultado:** Para obtener el valor faltante del año incompleto se realizara el promedio de los valores similares, exceptuando los que esten alejados considerablemente de los datos obtenidos.

## ESTACIONES INCOMPLETAS

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.3	18	7.5	36.8	0.01	23.8	19	39.1	20.9	27.1
Febrero	0	21.8	3.8	10.4	30.4	9.4	11.5	32	22.9	87.2
Marzo	9.6	104.7	27	10.8	11.8	17	31.6	-	34.8	11.1
Abril	15.8	32.7	-	5.5	44.3	15.3	20.1	-	10.3	21.8
Mayo	11.7	9.1	5.8	9.7	27.3	10.6	-	27.6	24	7.7
Junio	9.2	-	18.9	3.2	8.4	11.3	11	7.6	8.7	12.8
Julio	13.9	11.3	6.6	-	-	-	20.2	8.9	15.9	3.7
Agosto	13.4	11.2	10.2	-	7.6	1.6	18.5	10.4	8.4	-
Septiembre	9.8	11.4	15.5	-	6.6	33	8.5	10.5	32.4	14.1
Octubre	9.5	15.6	-	14.2	22.7	31.5	35.2	19.9	-	35.4
Noviembre	10.6	8.5	25.4	23.7	18.1	26.2	29	10.4	-	21.5
Diciembre	12.3	13.3	7.8	16.1	23	22.7	25.5	14.9	-	21.4

## Metodo Racional

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.300	18.000	7.500	36.800	0.010	23.800	19.000	39.100	20.900	27.100
Febrero	17.919	21.800	3.800	10.400	30.400	9.400	11.500	32.000	22.900	87.200
Marzo	9.600	104.700	27.000	10.800	11.800	17.000	31.600	21.015	34.800	11.100
Abril	15.800	32.700	17.030	5.500	44.300	15.300	20.100	24.027	10.300	21.800
Mayo	11.700	9.100	5.800	9.700	27.300	10.600	18.673	27.600	24.000	7.700
Junio	9.200	16.229	18.900	3.200	8.400	11.300	11.000	7.600	8.700	12.800
Julio	13.900	11.300	6.600	7.324	11.245	11.368	20.200	8.900	15.900	3.700
Agosto	13.400	11.200	10.200	4.693	7.600	1.600	18.500	10.400	8.400	9.493
Septiembre	9.800	11.400	15.500	7.361	6.600	33.000	8.500	10.500	32.400	14.100
Octubre	9.500	15.600	14.975	14.200	22.700	31.500	35.200	19.900	20.778	35.400
Noviembre	10.600	8.500	25.400	23.700	18.100	26.200	29.000	10.400	23.157	21.500
Diciembre	12.300	13.300	7.800	16.100	23.000	22.700	25.500	14.900	21.262	21.400

## METODO DE PROMEDIOS

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.300	18.000	7.500	36.800	0.010	23.800	19.000	39.100	20.900	27.100
Febrero	35.900	21.800	3.800	10.400	30.400	9.400	11.500	32.000	22.900	87.200
Marzo	9.600	104.700	27.000	10.800	11.800	17.000	31.600	20.125	34.800	11.100
Abril	15.800	32.700	19.925	5.500	44.300	15.300	20.100	16.325	10.300	21.800
Mayo	11.700	9.100	5.800	9.700	27.300	10.600	20.400	27.600	24.000	7.700
Junio	9.200	11.100	18.900	3.200	8.400	11.300	11.000	7.600	8.700	12.800
Julio	13.900	11.300	6.600	9.450	16.067	13.825	20.200	8.900	15.900	3.700
Agosto	13.400	11.200	10.200	6.600	7.600	1.600	18.500	10.400	8.400	7.450
Septiembre	9.800	11.400	15.500	7.353	6.600	33.000	8.500	10.500	32.400	14.100
Octubre	9.500	15.600	11.575	14.200	22.700	31.500	35.200	19.900	19.750	35.400
Noviembre	10.600	8.500	25.400	23.700	18.100	26.200	29.000	10.400	27.825	21.500
Diciembre	12.300	13.300	7.800	16.100	23.000	22.700	25.500	14.900	23.275	21.400

## METODO RAZON Q

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.300	18.000	7.500	36.800	0.010	23.800	19.000	39.100	20.900	27.100
Febrero	16.344	21.800	3.800	10.400	30.400	9.400	11.500	32.000	22.900	87.200
Marzo	9.600	104.700	27.000	10.800	11.800	17.000	31.600	19.112	34.800	11.100
Abril	15.800	32.700	13.372	5.500	44.300	15.300	20.100	18.866	10.300	21.800
Mayo	11.700	9.100	5.800	9.700	27.300	10.600	16.818	27.600	24.000	7.700
Junio	9.200	15.282	18.900	3.200	8.400	11.300	11.000	7.600	8.700	12.800
Julio	13.900	11.300	6.600	6.288	9.654	9.760	20.200	8.900	15.900	3.700
Agosto	13.400	11.200	10.200	4.362	7.600	1.600	18.500	10.400	8.400	8.824
Septiembre	9.800	11.400	15.500	6.857	6.600	33.000	8.500	10.500	32.400	14.100
Octubre	9.500	15.600	11.864	14.200	22.700	31.500	35.200	19.900	16.462	35.400
Noviembre	10.600	8.500	25.400	23.700	18.100	26.200	29.000	10.400	20.461	21.500
Diciembre	12.300	13.300	7.800	16.100	23.000	22.700	25.500	14.900	19.040	21.400

6.4. ANEXO 4. RESULTADOS DE LOS DATOS CORRELACIONADOS

METODO DE LA RAZON - NORMAL

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.300	18.000	7.500	36.800	0.010	23.800	19.000	39.100	20.900	27.100
Febrero	17.830	21.800	3.800	10.400	30.400	9.400	11.500	32.000	22.900	87.200
Marzo	9.600	104.700	27.000	10.800	11.800	17.000	31.600	22.935	34.800	11.100
Abril	15.800	32.700	16.046	5.500	44.300	15.300	20.100	22.640	10.300	21.800
Mayo	11.700	9.100	5.800	9.700	27.300	10.600	18.346	27.600	24.000	7.700
Junio	9.200	16.671	18.900	3.200	8.400	11.300	11.000	7.600	8.700	12.800
Julio	13.900	11.300	6.600	8.384	10.532	10.647	20.200	8.900	15.900	3.700
Agosto	13.400	11.200	10.200	5.815	7.600	1.600	18.500	10.400	8.400	9.626
Septiembre	9.800	11.400	15.500	9.143	6.600	33.000	8.500	10.500	32.400	14.100
Octubre	9.500	15.600	14.237	14.200	22.700	31.500	35.200	19.900	21.949	35.400
Noviembre	10.600	8.500	25.400	23.700	18.100	26.200	29.000	10.400	27.281	21.500
Diciembre	12.300	13.300	7.800	16.100	23.000	22.700	25.500	14.900	25.386	21.400

METODO LINEAL

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.300	18.000	7.500	36.800	0.010	23.800	19.000	39.100	20.900	27.100
Febrero	13.631	21.800	3.800	10.400	30.400	9.400	11.500	32.000	22.900	87.200
Marzo	9.600	104.700	27.000	10.800	11.800	17.000	31.600	23.058	34.800	11.100
Abril	15.800	32.700	14.079	5.500	44.300	15.300	20.100	22.804	10.300	21.800
Mayo	11.700	9.100	5.800	9.700	27.300	10.600	17.025	27.600	24.000	7.700
Junio	9.200	15.156	18.900	3.200	8.400	11.300	11.000	7.600	8.700	12.800
Julio	13.900	11.300	6.600	6.006	9.461	19.264	20.200	8.900	15.900	3.700
Agosto	13.400	11.200	10.200	3.394	7.600	1.600	18.500	10.400	8.400	-2.976
Septiembre	9.800	11.400	15.500	6.778	6.600	33.000	8.500	10.500	32.400	14.100
Octubre	9.500	15.600	13.471	14.200	22.700	31.500	35.200	19.900	21.633	35.400
Noviembre	10.600	8.500	25.400	23.700	18.100	26.200	29.000	10.400	24.175	21.500
Diciembre	12.300	13.300	7.800	16.100	23.000	22.700	25.500	14.900	23.272	21.400

COMPLETACION DE ESTACIONES

Año	1967	1971	1977	1986	1988	1991	1994	1996	1999	2006
Dato	Max 24H									
Enero	26.300	18.000	7.500	36.800	0.010	23.800	19.000	39.100	20.900	27.100
Febrero	17.364	21.800	3.800	10.400	30.400	9.400	11.500	32.000	22.900	87.200
Marzo	9.600	104.700	27.000	10.800	11.800	17.000	31.600	22.336	34.800	11.100
Abril	15.800	32.700	14.499	5.500	44.300	15.300	20.100	23.157	10.300	21.800
Mayo	11.700	9.100	5.800	9.700	27.300	10.600	18.015	27.600	24.000	7.700
Junio	9.200	15.835	18.900	3.200	8.400	11.300	11.000	7.600	8.700	12.800
Julio	13.900	11.300	6.600	6.539	9.882	10.591	20.200	8.900	15.900	3.700
Agosto	13.400	11.200	10.200	4.957	7.600	1.600	18.500	10.400	8.400	9.314
Septiembre	9.800	11.400	15.500	7.087	6.600	33.000	8.500	10.500	32.400	14.100
Octubre	9.500	15.600	14.227	14.200	22.700	31.500	35.200	19.900	21.453	35.400
Noviembre	10.600	8.500	25.400	23.700	18.100	26.200	29.000	10.400	25.609	21.500
Diciembre	12.300	13.300	7.800	16.100	23.000	22.700	25.500	14.900	23.299	21.400

DATO FALTANTE		METODO USADO				
AÑO	MES	RACIONAL	PROMEDIOS	RAZON Q	RAZON NORMAL	LINEAL
1967	Febrero	X		X	X	
1971	Junio	X		X	X	X
1977	Abril			X	X	X
1977	Octubre	X			X	X
1986	Julio	X		X		X
1986	Agosto	X		X	X	
1986	Septiembre	X	X	X		X
1988	Julio			X	X	X
1991	Julio	X		X	X	
1994	Mayo	X			X	X
1996	Marzo	X			X	X
1996	Abril	X			X	X
1999	Octubre	X			X	X
1999	Noviembre	X	X		X	X
1999	Diciembre	X	X		X	X
2006	Agosto	X		X	X	



## 6.5. ANEXO 5.

PRUEBA DE INDEPENDENCIA DE ANDERSON DE LA  
PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS.

Nombre	Estacion M139 Gualaceo	
Años	Precipitacion Maxima 24 H - Anual	$\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2$
n	46	
1964	27	230.578
1965	25.7	271.748
1966	48	33.817
1967	26.3	252.326
1968	52.8	112.683
1969	65.7	552.965
1970	39.7	6.174
1971	104.7	3908.152
1972	43.1	0.838
1973	41.8	0.148
1974	34.7	56.022
1975	38.6	12.851
1977	27	230.578
1978	43.5	1.730
1979	39.9	5.220
1980	50.2	64.244
1981	47.2	25.152
1982	40.3	3.552
1983	48.4	38.629
1984	31.3	118.478
1985	28	201.208
1986	36.8	28.996
1987	43.3	1.244
1988	44.3	4.474
1989	36.9	27.929
1990	38.4	14.325
1991	33	84.360
1992	40	4.773
1994	35.2	48.787
1995	34.7	56.022
1996	39.1	9.516
1997	44.7	6.326
1998	38.1	16.685
1999	34.8	54.535
2001	30	148.469
2002	36	38.252
2003	32.7	89.961
2004	50.1	62.651
2005	32.5	93.795
2006	87.2	2026.370
2007	35.9	39.498
2008	38	17.512
2009	39.3	8.322
2010	45.5	10.991
2011	61.7	380.844
2012	48.4	38.629
<b>Media</b>	42.185	<b>Sumatoria</b> 9440.359

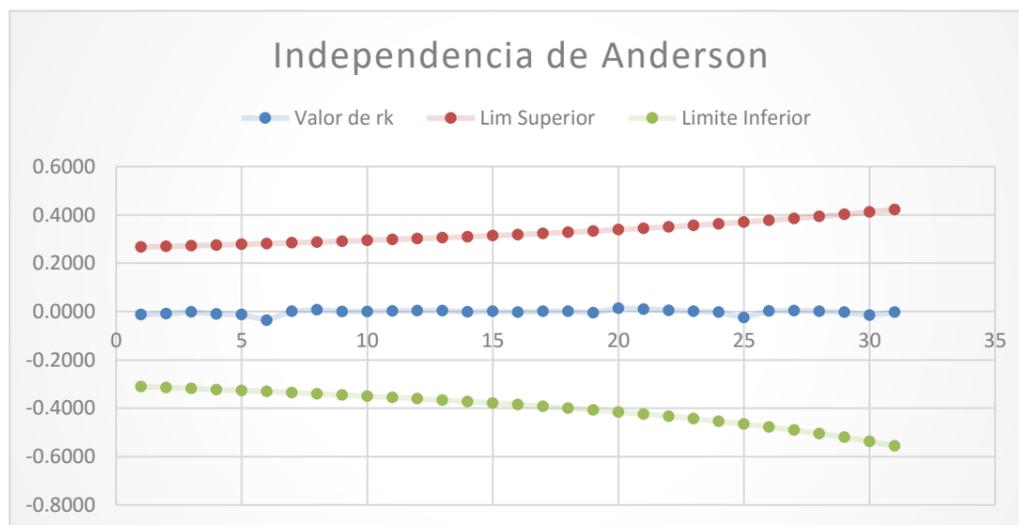
PRUEBA DE ANDERSON	1) $r_1^{15} = 1$	$i=1$	
k	Lim Sup	rk	Lim Infe
1	0.2667	-0.0129	-0.3111
2	0.2694	-0.0088	-0.3148
3	0.2721	-0.0012	-0.3187
4	0.2750	-0.0105	-0.3226
5	0.2780	-0.0122	-0.3267
6	0.2810	-0.0353	-0.3310
7	0.2842	0.0014	-0.3354
8	0.2874	0.0074	-0.3401
9	0.2908	0.0002	-0.3449
10	0.2943	0.0002	-0.3499
11	0.2980	0.0030	-0.3551
12	0.3017	0.0035	-0.3606
13	0.3057	0.0035	-0.3663
14	0.3098	-0.0010	-0.3723
15	0.3140	0.0018	-0.3786
16	0.3185	-0.0026	-0.3852
17	0.3231	0.0013	-0.3921
18	0.3280	0.0008	-0.3994
19	0.3331	-0.0049	-0.4072
20	0.3385	0.0140	-0.4154
21	0.3441	0.0093	-0.4241
22	0.3500	0.0054	-0.4333
23	0.3562	0.0009	-0.4432
24	0.3628	-0.0022	-0.4537
25	0.3698	-0.0252	-0.4650
26	0.3772	0.0025	-0.4772
27	0.3850	0.0041	-0.4903
28	0.3934	0.0007	-0.5045
29	0.4024	-0.0025	-0.5200
30	0.4119	-0.0155	-0.5369
31	0.4222	-0.0020	-0.5556

$$1) r_j^k = 1$$

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

$$3) r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - \bar{Q}^j)(Q_{i+k}^j - \bar{Q}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2}$$

$$4) r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1,96 * \sqrt{(n_j-k-1)}}{n_j - k}$$



La gráfica de los valores estimados para  $r_k^j$  (ordenadas) contra los tiempos de retraso  $k$  (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra. Si y solo si, el 10% de los valores  $r_k^j$  sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie  $Q_i^j$  es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.

Los valores de rk no sobrepasan de los limites como



## 6.6. ANEXO 6.

### ANÁLISIS PROBABILÍSTICO HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

6.6. ANEXO 6. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

Nombre		Estacion M139 Gualaceo
Años	Numerado	Precipitacion Maxima 24 H -Anual Mayorizadas
1964	1	35.1
1965	2	33.41
1966	3	62.4
1967	4	34.19
1968	5	68.64
1969	6	85.41
1970	7	51.61
1971	8	136.11
1972	9	56.03
1973	10	54.34
1974	11	45.11
1975	12	50.18
1977	13	35.1
1978	14	56.55
1979	15	51.87
1980	16	65.26
1981	17	61.36
1982	18	52.39
1983	19	62.92
1984	20	40.69
1985	21	36.4
1986	22	47.84
1987	23	56.29
1988	24	57.59
1989	25	47.97
1990	26	49.92
1991	27	42.9
1992	28	52
1994	29	45.76
1995	30	45.11
1996	31	50.83
1997	32	58.11
1998	33	49.53
1999	34	45.24
2001	35	39
2002	36	46.8
2003	37	42.51
2004	38	65.13
2005	39	42.25
2006	40	113.36
2007	41	46.67
2008	42	49.4
2009	43	51.09
2010	44	59.15
2011	45	80.21
2012	46	62.92

Datos Estadísticos		
Descripcion	Simbolo	Valor
Tamaño de la muestra	n	46
Media	$\bar{x}$	54.84
Varianza	$S^2$	354.54
Desviacion Estandar	S	18.83

Periodo de Retorno	T	5
Probabilidad	P	0.8000
Periodo de Retorno	T	10
Probabilidad	P	0.9000
Periodo de Retorno	T	25
Probabilidad	P	0.9600
Periodo de Retorno	T	50
Probabilidad	P	0.9800
Periodo de Retorno	T	100
Probabilidad	P	0.9900

$x = (s \times z) + \bar{x}$

Distribucion Normal		
Descripcion	Periodo de Retorno (T)	Precipitacion mm/24h
Valor de la Tabla z	Z T5	0.84
Valor de la Tabla z	Z T10	1.28
Valor de la Tabla z	Z T25	1.75
Valor de la Tabla z	Z T50	2.05
Valor de la Tabla z	Z T100	2.33
Valor de X	x T5	70.66
Valor de X	x T10	78.94
Valor de X	x T25	87.79
Valor de X	x T50	93.44
Valor de X	x T100	98.71

Distribucion Logaritmico Normal		
Descripcion	Periodo de Retorno (T)	Precipitacion mm/h
Valor de la Tabla z	Z T5	0.84
Valor de la Tabla z	Z T10	1.28
Valor de la Tabla z	Z T25	1.75
Valor de la Tabla z	Z T50	2.05
Valor de la Tabla z	Z T100	2.33
Sumatoria ln xi	$\sum \ln xi$	182.220
Sumatoria (ln xi- $\alpha$ )^2	$\sum (\ln xi-\alpha)^2$	3.530
media de los logaritmos	$\alpha$	3.960
desviacion estandar de logaritmos	$\beta$	0.280
Valor de X	x T5	66.37
Valor de X	x T10	75.07
Valor de X	x T25	85.63
Valor de X	x T50	93.13
Valor de X	x T100	100.73

Distribucion Log Pearson III		
Descripcion	Periodo de Retorno (T)	Precipitacion mm/h
Sumatoria de (xi- $\bar{x}$ )^3	$\sum (xi-\bar{x})^3$	1185086.331
Coficiente de Sesgo	$\gamma$	3.859
Coficientes de Gamma	$\beta_1$	0.269
Coficientes de Gamma	$\alpha_1$	36.333
Coficientes de Gamma	$\delta$	45.082
Grado de Libertad	v	1.00
Tabla 4 Apendice A . Aparicio	$X^2(P5)$	1.783
Tabla 4 Apendice A . Aparicio	$X^2(P10)$	2.710
Tabla 4 Apendice A . Aparicio	$X^2(P25)$	4.312
Tabla 4 Apendice A . Aparicio	$X^2(P50)$	5.557
Tabla 4 Apendice A . Aparicio	$X^2(P100)$	6.630
Funcion ji cuadrado	y(P5)	0.892
Funcion ji cuadrado	y(P10)	1.355
Funcion ji cuadrado	y(P25)	2.156
Funcion ji cuadrado	y(P50)	2.778
Funcion ji cuadrado	y(P100)	3.315
Valor de X	x T5	77.48
Valor de X	x T10	94.31
Valor de X	x T25	123.42
Valor de X	x T50	146.03
Valor de X	x T100	165.53

Distribucion Gumbel		
Descripcion	Periodo de Retorno (T)	Precipitacion mm/h
parametros de la funcion gumbel	$\alpha$	0.06127
parametros de la funcion gumbel	$\beta$	45.91612
Funcion de n Tabla 9,6 Aparicio	$\mu y$	0.54674
Funcion de n Tabla 9,6 Aparicio	$\sigma y$	1.15358
Valor de X	x T5	70.40
Valor de X	x T10	82.65
Valor de X	x T25	98.12
Valor de X	x T50	109.61
Valor de X	x T100	121.00

$$\alpha = \sum_{x=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

$$\beta = \left[ \sum_{x=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

$$x = e^{z \cdot \beta + \alpha}$$

$$\gamma = \sum_{x=1}^n \left( \frac{(x_i - \bar{x})^3}{S^3} \right)$$

$$\beta_1 = \frac{2}{\gamma} \quad \alpha_1 = \frac{S}{\sqrt{\beta_1}}$$

$$\delta_1 = \bar{x} - (\alpha_1 \times \beta_1)$$

$$v = (2 \times \beta_1)$$

$$y = (x^{(v)} \div 2)$$

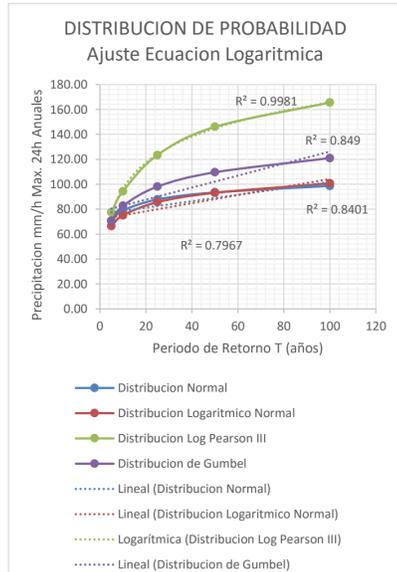
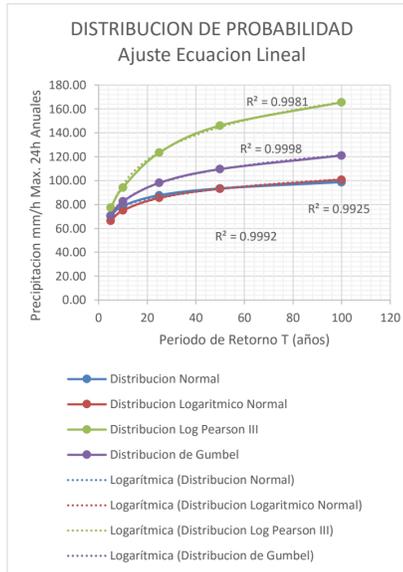
$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

$$x = \beta - \frac{1}{\alpha} \times \ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right)$$

Precipitación mm Max 24h Anuales	TR ( Periodo de Retorno)				
	5	10	25	50	100
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD					
Distribucion Normal	70.66	78.94	87.79	93.44	98.71
Distribucion Logaritmico Normal	66.37	75.07	85.63	93.13	100.73
Distribucion Log Pearson III	77.48	94.31	123.42	146.03	165.53
<b>Distribucion de Gumbel</b>	<b>70.40</b>	<b>82.65</b>	<b>98.12</b>	<b>109.61</b>	<b>121.00</b>

Se ha seleccionado que la Distribucion de Probabilidad que menor Error tiene y que mas se ajusta para tener un Diseño no muy sobredimensionado o en caso contrario subdiseñada.



SELECCIÓN DE LA FUNCION DE DISTRIBUCION DE LA PROBABILIDAD

Analisis Grafico		
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD	R2 Lineal	R2 Logaritmica
Distribucion Normal	0.7967	0.9925
Distribucion Logaritmico Normal	0.8401	0.9992
Distribucion Log Pearson III	<b>0.8633</b>	0.9981
Distribucion de Gumbel	0.8490	<b>0.9998</b>

Como se puede observar el Menor coeficiente de ajuste R2 se obtiene en la curva Logaritmica el Metodo de Distribucion de Gumbel. Y en la curva Lineal la Distribucion que mas se ajusta es el Metodo de Log Pearson III

Analisis Metodo del Error Cuadratico Minimo - Ecuacion Lineal

Distribucion Normal						Ecuacion	y = 0,2584*x+76,089
TR	5	10	25	50	100		
Prob. Normal Xoi	70.66	78.94	87.79	93.44	98.71		
Ecuacion Xei	77.381	77.381	77.381	77.381	77.381	C	
(Xei - Xoi)^2	45.21584983	2.435363395	108.3739025	257.8925108	455.0201733		<b>29.48</b>

Distribucion Logaritmico Normal						Ecuacion	y = 0,3246x+71,849
TR	5	10	25	50	100		
Prob. Log N Xoi	66.37	75.07	85.63	93.13	100.73		
Ecuacion Xei	73.472	75.095	79.964	88.079	104.309	C	
(Xei - Xoi)^2	50.481	0.001	32.069	25.516	12.841		<b>11.00</b>

Distribucion Log Pearson III						Ecuacion	y = 0,8645*x+88,501
TR	5	10	25	50	100		
Prob. Log P III Xoi	77.48	94.31	123.42	146.03	165.53		
Ecuacion Xei	92.8235	97.146	110.1135	131.726	174.951	C	
(Xei - Xoi)^2	235.4737424	8.024917196	176.9507319	204.5164705	88.83903101		<b>26.72</b>

Distribucion de Gumbel						Ecuacion	y = 0,4817x + 78,052
TR	5	10	25	50	100		
Prob. Gumbel Xoi	70.40	82.65	98.12	109.61	121.00		
Ecuacion Xei	80.4605	82.869	90.0945	102.137	126.222	C	
(Xei - Xoi)^2	101.2395097	0.04907111	64.47008511	55.77198807	27.25333973		<b>15.77</b>

Como se puede observar en el Analisis del Error Cuadratico Minimo el que tiene menos error es la Distribucion Probabilistica Logaritmico Normal con un valor de **11,00** pero se debe observar que el valor del Error Cuadratico de la Distribucion Probabilistica de Gumbel es un poco mayor **C=15,77**.

Analisis Metodo del Error Cuadratico Minimo - Ecuacion Logaritmica

Distribucion Normal						Ecuacion	y = 9,3055ln(x) + 56,786
TR	5	10	25	50	100		
Prob. Normal Xoi	70.66	78.94	87.79	93.44	98.71		
Ecuacion Xei	71.76262449	78.21270558	86.73924899	93.18933008	99.63941117	C	
(Xei - Xeo)^2	1.223009671	0.531236179	1.106766506	0.062851486	0.859717076		<b>1.95</b>

Distribucion Logaritmico Normal						Ecuacion	y = 11,422ln(x) + 48,437
TR	5.000	10.000	25.000	50.000	100.000		
Prob. Log N Xoi	66.367	75.068	85.627	93.130	100.726		
Ecuacion Xei	66.820	74.737	85.203	93.120	101.037	C	
(Xei - Xeo)^2	0.205	0.110	0.180	0.000	0.097		<b>0.769</b>

Distribucion Log Pearson III						Ecuacion	y = 29,993ln(x) + 27,486
TR	5	10	25	50	100		
Prob. Log P III Xoi	77.478	94.313	123.416	146.027	165.526		
Ecuacion Xei	75.758	96.547	124.030	144.819	165.609	C	
(Xei - Xeo)^2	2.960	4.992	0.377	1.458	0.007		<b>3.130</b>

Distribucion de Gumbel						Ecuacion	y = 16,865ln(x) + 43,575
TR	5.000	10.000	25.000	50.000	100.000		
Prob. Gumbel Xoi	70.399	82.647	98.124	109.605	121.002		
Ecuacion Xei	70.718	82.408	97.861	109.551	121.241	C	
(Xei - Xeo)^2	0.102	0.057	0.069	0.003	0.057		<b>0.537</b>

Como se puede observar en el Analisis del Error Cuadratico Minimo el que tiene menos error es la Distribucion Probabilistica de Gumbel con un valor de **0,54** pero se debe observar que el valor del Error Cuadratico de la Distribucion Logaritmico Normal es un poco mayor **C= 0,54**.



## 6.7. ANEXO 7.

GENERACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD  
DURACIÓN Y FRECUENCIA PARA DIFERENTES  
PERIODOS DE RETORNO.

SECCION 6.7. ANEXO 7. GENERACION DE CURVAS DE INTENSIDAD DURACION Y FRECUENCIA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.

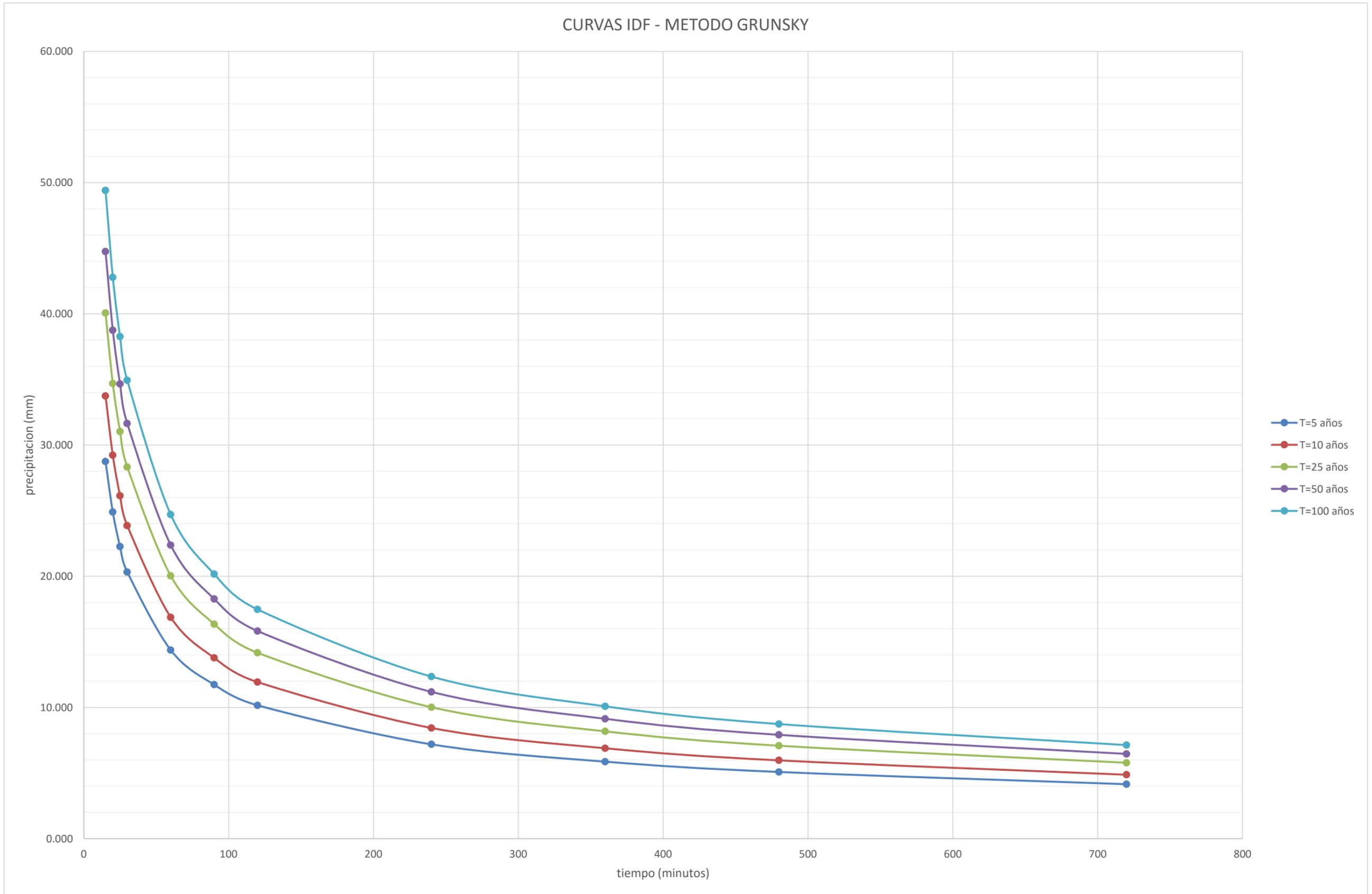
Precipitacion mm Max 24h Anuales	TR ( Periodo de Retorno)				
	5	10	25	50	100
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD					
<b>Distribucion de Gumbel</b>	<b>70.399</b>	<b>82.647</b>	<b>98.124</b>	<b>109.605</b>	<b>121.002</b>

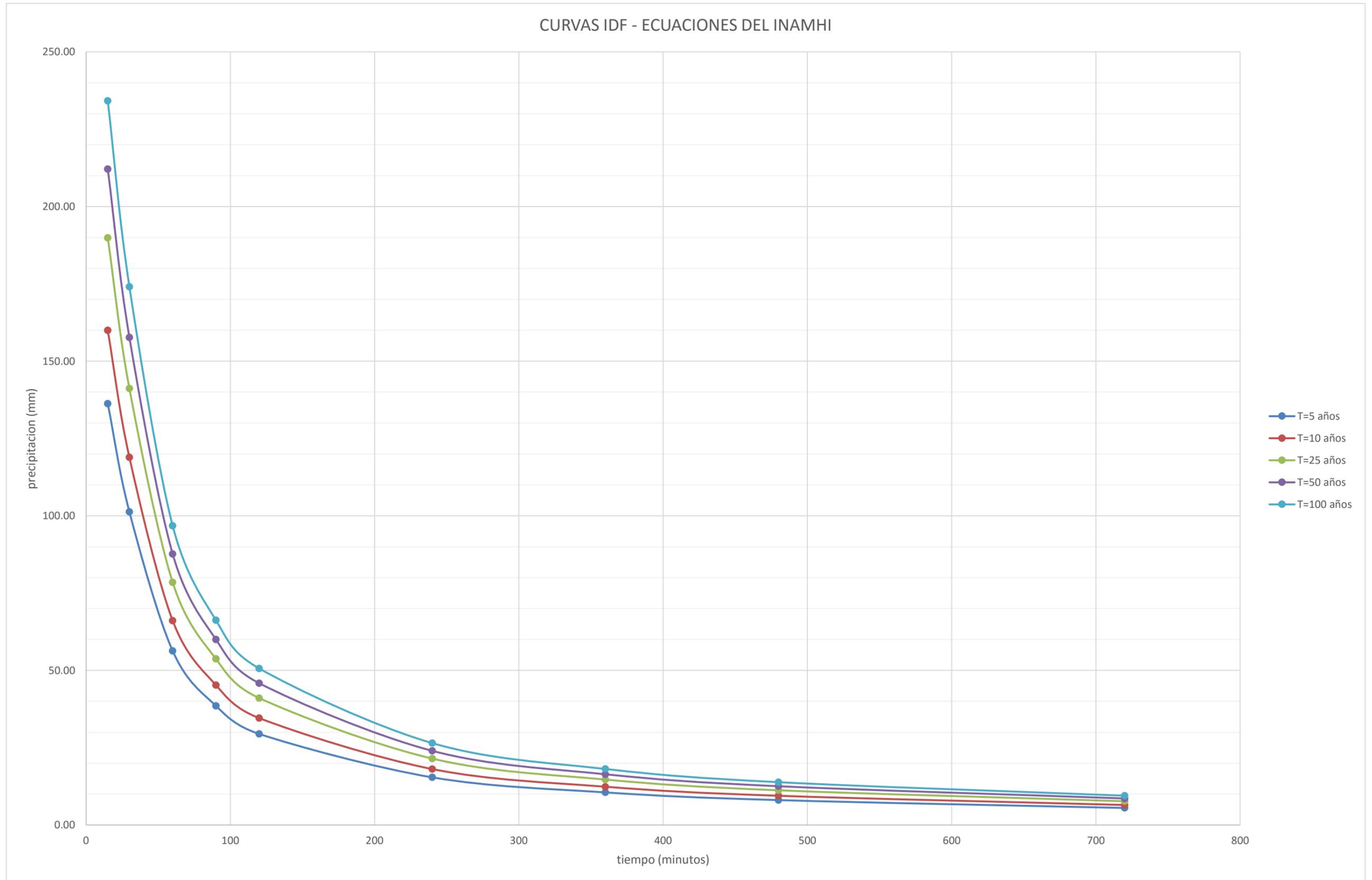
**RELACION ENTRE LLUVIA EN MINUTOS Y LA DE 24 H**

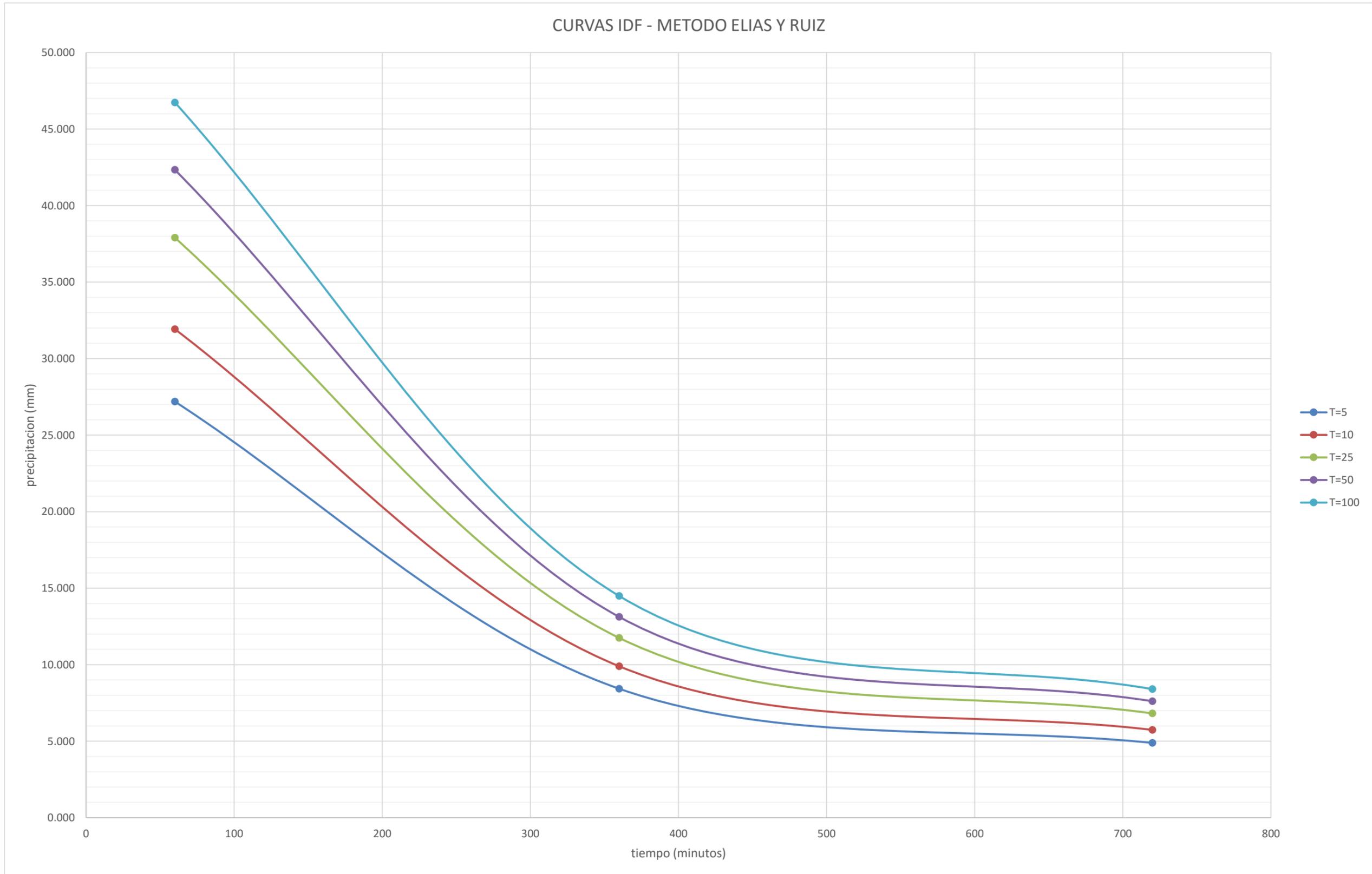
METODO GRUNSKY															
Precimitacion Max 24h Anuales mm	T	Precipitacion de minutos Especificados (mm)													
		5	10	15	20	25	30	60	90	120	240	360	480	720	
Distribucion de Gumbel	70.399	5	49.779	35.199	28.740	24.890	22.262	20.322	14.370	11.733	10.161	7.185	5.867	5.081	4.148
Distribucion de Gumbel	82.64748	10	58.441	41.324	33.741	29.220	26.135	23.858	16.870	13.775	11.929	8.435	6.887	5.965	4.870
Distribucion de Gumbel	98.12382657	25	69.384	49.062	40.059	34.692	31.029	28.326	20.029	16.354	14.163	10.015	8.177	7.081	5.782
Distribucion de Gumbel	109.6050645	50	77.502	54.803	44.746	38.751	34.660	31.640	22.373	18.268	15.820	11.187	9.134	7.910	6.459
Distribucion de Gumbel	121.0015269	100	85.561	60.501	49.399	42.781	38.264	34.930	24.699	20.167	17.465	12.350	10.083	8.733	7.130

METODO ELIAS Y RUIZ					
Precimitacion Max 24h Anuales mm	T	Precipitacion de minutos Especificados (mm)			
		60	360	720	
Distribucion de Gumbel	70.399	5	27.190	8.429	4.889
Distribucion de Gumbel	82.64748	10	31.921	9.896	5.739
Distribucion de Gumbel	98.12382657	25	37.899	11.749	6.814
Distribucion de Gumbel	109.6050645	50	42.333	13.123	7.611
Distribucion de Gumbel	121.0015269	100	46.735	14.488	8.403

ECUACIONES DEL INAMHI - ESTACION M139 GUALACEO											
Precimitacion Max 24h Anuales mm	T	Precipitacion de minutos Especificados (mm)									
		15	30	60	90	120	240	360	480	720	
Distribucion de Gumbel	70.399	5	136.24	101.27	56.30	38.53	29.45	15.40	10.54	8.05	5.51
Distribucion de Gumbel	82.64748	10	159.95	118.89	66.10	45.24	34.57	18.08	12.37	9.46	6.47
Distribucion de Gumbel	98.12382657	25	189.90	141.16	78.47	53.71	41.04	21.47	14.69	11.23	7.68
Distribucion de Gumbel	109.6050645	50	212.12	157.67	87.66	60.00	45.84	23.98	16.41	12.54	8.58
Distribucion de Gumbel	121.0015269	100	234.17	174.07	96.77	66.23	50.61	26.47	18.12	13.84	9.48







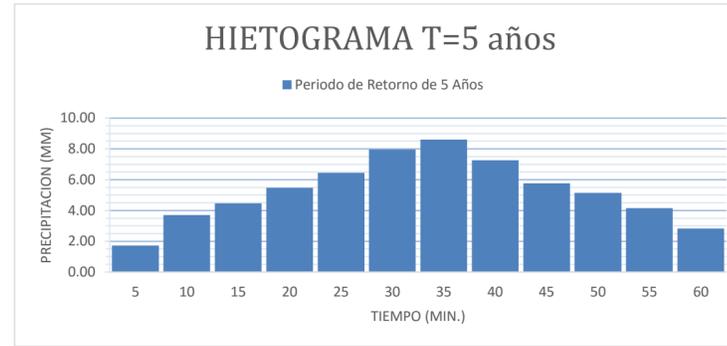


## 6.8. ANEXO 8.

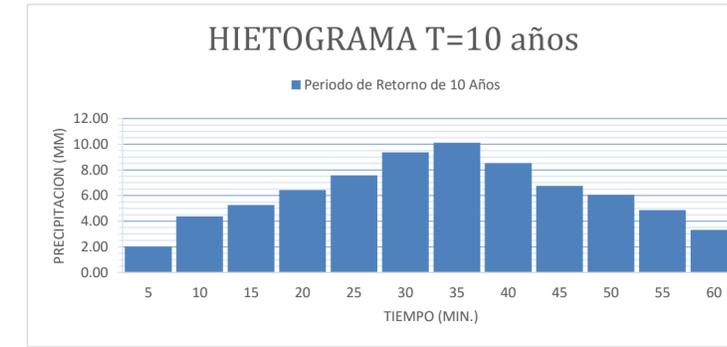
### ELABORACIÓN DEL HIETOGRAMA DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

SECCION 6.8 ANEXO 8. ELABORACIÓN DEL HIETOGRAMA DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

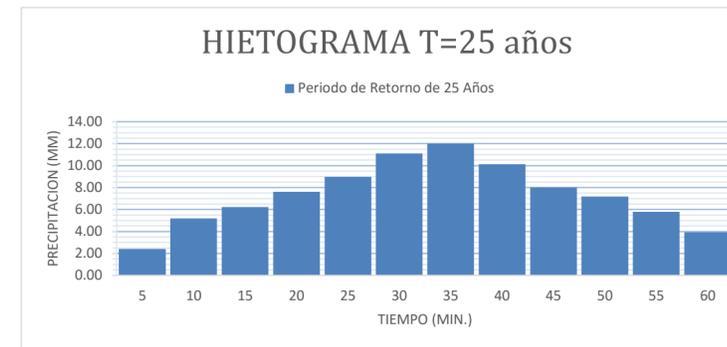
Periodo de Retorno de 5 Años						
Tiempo (m)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Variación Precipitación	Precipitación Ordenada	min	prec (mm)
5	49.7794	4.1483	4.1483	1.7183	5	1.72
10	35.1994	5.8666	1.7183	3.7151	10	3.72
15	28.7402	7.1850	5.4668	4.4729	15	4.47
20	24.8897	8.2966	2.8298	5.4668	20	5.47
25	22.2620	9.2758	6.4460	6.4460	25	6.45
30	20.3224	10.1612	3.7151	7.9719	30	7.97
35	18.8148	10.9753	7.2602	8.6122	35	8.61
40	17.5997	11.7331	4.4729	7.2602	40	7.26
45	16.5931	12.4449	7.9719	5.7579	45	5.76
50	15.7416	13.1180	5.1461	5.1461	50	5.15
55	15.0091	13.7583	8.6122	4.1483	55	4.15
60	14.3701	14.3701	5.7579	2.8298	60	2.83



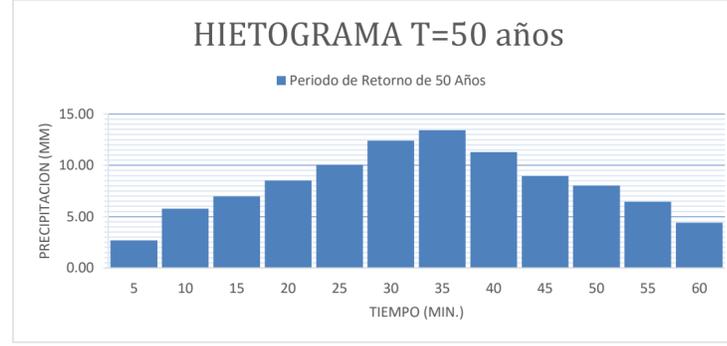
Periodo de Retorno de 10 Años						
Tiempo (m)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Variación Precipitación	Precipitación Ordenada	min	prec (mm)
5	58.4406	4.8700	4.8700	2.0172	5	2.02
10	41.3237	6.8873	2.0172	4.3615	10	4.36
15	33.7407	8.4352	6.4179	5.2512	15	5.25
20	29.2203	9.7401	3.3222	6.4179	20	6.42
25	26.1354	10.8898	7.5676	7.5676	25	7.57
30	23.8583	11.9291	4.3615	9.3590	30	9.36
35	22.0885	12.8849	8.5234	10.1106	35	10.11
40	20.6619	13.7746	5.2512	8.5234	40	8.52
45	19.4802	14.6101	9.3590	6.7597	45	6.76
50	18.4805	15.4004	6.0415	6.0415	50	6.04
55	17.6205	16.1521	10.1106	4.8700	55	4.87
60	16.8703	16.8703	6.7597	3.3222	60	3.32



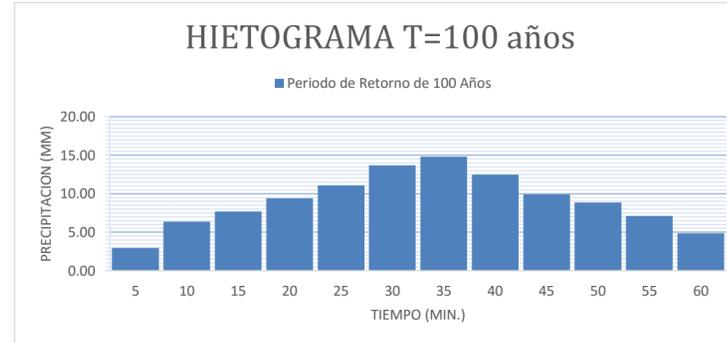
Periodo de Retorno de 25 Años						
Tiempo (m)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Variación Precipitación	Precipitación Ordenada	min	prec (mm)
5	69.3840	5.7820	5.7820	2.3950	5	2.39
10	49.0619	8.1770	2.3950	5.1783	10	5.18
15	40.0589	10.0147	7.6197	6.2345	15	6.23
20	34.6920	11.5640	3.9443	7.6197	20	7.62
25	31.0295	12.9289	8.9847	8.9847	25	8.98
30	28.3259	14.1630	5.1783	11.1115	30	11.11
35	26.2247	15.2977	10.1195	12.0039	35	12.00
40	24.5310	16.3540	6.2345	10.1195	40	10.12
45	23.1280	17.3460	11.1115	8.0255	45	8.03
50	21.9412	18.2843	7.1728	7.1728	50	7.17
55	20.9201	19.1767	12.0039	5.7820	55	5.78
60	20.0294	20.0294	8.0255	3.9443	60	3.94



Periodo de Retorno de 50 Años						
Tiempo (m)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Variación Precipitación	Precipitación Ordenada	min	prec (mm)
5	77.5025	6.4585	6.4585	2.6752	5	2.68
10	54.8025	9.1338	2.6752	5.7842	10	5.78
15	44.7461	11.1865	8.5113	6.9640	15	6.96
20	38.7512	12.9171	4.4058	8.5113	20	8.51
25	34.6602	14.4417	10.0360	10.0360	25	10.04
30	31.6403	15.8201	5.7842	12.4116	30	12.41
35	29.2932	17.0877	11.3035	13.4085	35	13.41
40	27.4013	18.2675	6.9640	11.3035	40	11.30
45	25.8342	19.3756	12.4116	8.9645	45	8.96
50	24.5084	20.4237	8.0121	8.0121	50	8.01
55	23.3679	21.4206	13.4085	6.4585	55	6.46
60	22.3730	22.3730	8.9645	4.4058	60	4.41



Periodo de Retorno de 100 Años						
Tiempo (m)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Variación Precipitación	Precipitación Ordenada	min	prec (mm)
5	85.5610	7.1301	7.1301	2.9534	5	2.95
10	60.5008	10.0835	2.9534	6.3856	10	6.39
15	49.3987	12.3497	9.3963	7.6881	15	7.69
20	42.7805	14.2602	4.8639	9.3963	20	9.40
25	38.2640	15.9434	11.0795	11.0795	25	11.08
30	34.9301	17.4651	6.3856	13.7022	30	13.70
35	32.3390	18.8644	12.4788	14.8027	35	14.80
40	30.2504	20.1669	7.6881	12.4788	40	12.48
45	28.5203	21.3903	13.7022	9.8967	45	9.90
50	27.0568	22.5473	8.8451	8.8451	50	8.85
55	25.7976	23.6478	14.8027	7.1301	55	7.13
60	24.6993	24.6993	9.8967	4.8639	60	4.86





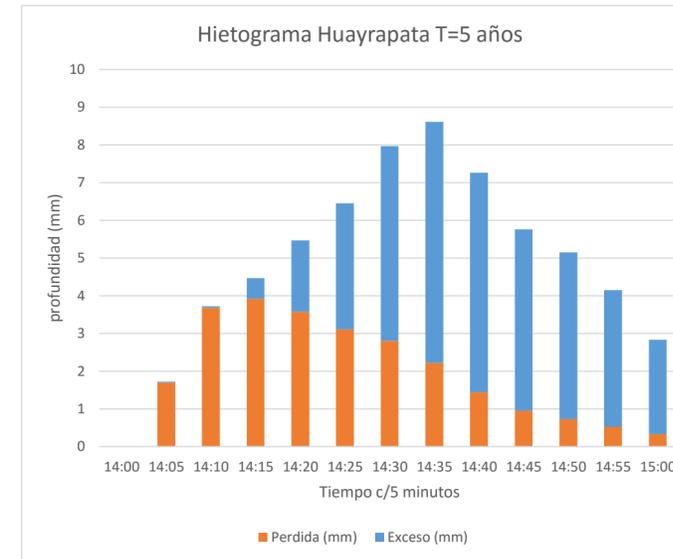
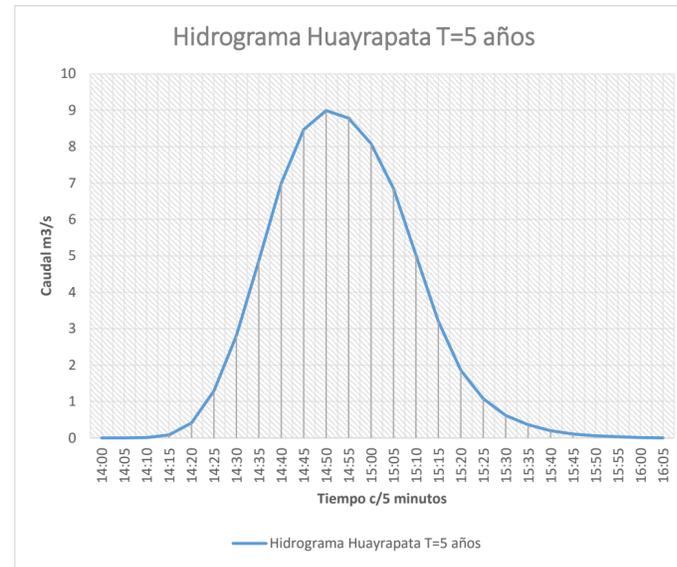
## 6.9. ANEXO 9.

GENERACIÓN DE CAUDALES EN EL SOFTWARE HEC-HMS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

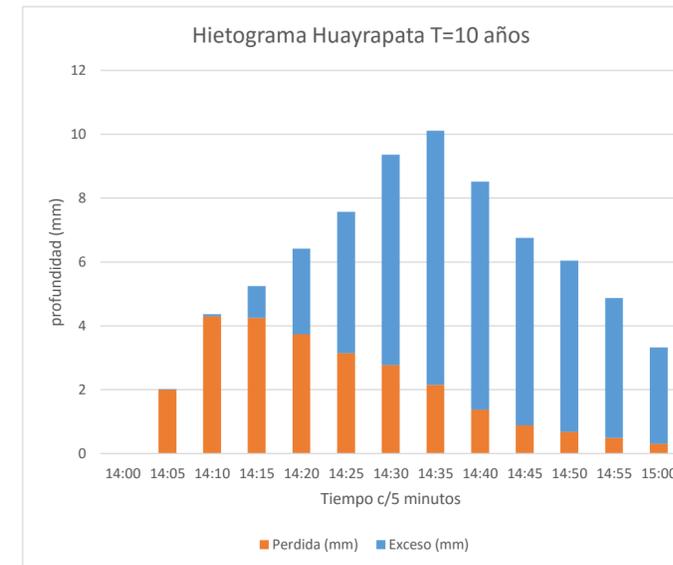
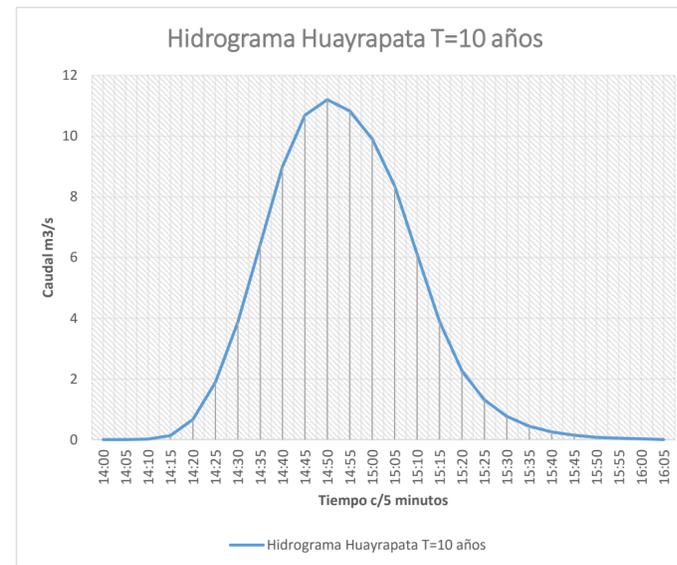
**Hidrograma Huayrapata T=5 años**

Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	1.72	1.7	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	3.72	3.68	0.04	0.01	0.01
7 Mar 16	14:15	4.47	3.92	0.55	0.08	0.08
7 Mar 16	14:20	5.47	3.58	1.89	0.41	0.41
7 Mar 16	14:25	6.45	3.11	3.34	1.29	1.29
7 Mar 16	14:30	7.97	2.81	5.16	2.81	2.81
7 Mar 16	14:35	8.61	2.22	6.39	4.87	4.87
7 Mar 16	14:40	7.26	1.44	5.82	7	7
7 Mar 16	14:45	5.76	0.95	4.81	8.47	8.47
7 Mar 16	14:50	5.15	0.73	4.42	8.99	8.99
7 Mar 16	14:55	4.15	0.52	3.63	8.78	8.78
7 Mar 16	15:00	2.83	0.33	2.5	8.08	8.08
7 Mar 16	15:05	0	0	0	6.85	6.85
7 Mar 16	15:10	0	0	0	5.02	5.02
7 Mar 16	15:15	0	0	0	3.2	3.2
7 Mar 16	15:20	0	0	0	1.86	1.86
7 Mar 16	15:25	0	0	0	1.08	1.08
7 Mar 16	15:30	0	0	0	0.62	0.62
7 Mar 16	15:35	0	0	0	0.36	0.36
7 Mar 16	15:40	0	0	0	0.2	0.2
7 Mar 16	15:45	0	0	0	0.11	0.11
7 Mar 16	15:50	0	0	0	0.06	0.06
7 Mar 16	15:55	0	0	0	0.03	0.03
7 Mar 16	16:00	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	16:05	0	0	0	0	0
8 Mar 16	16:10	0	0	0	0	0
Sumatoria		63.56	24.99	38.57		



**Hidrograma Huayrapata T=10 años**

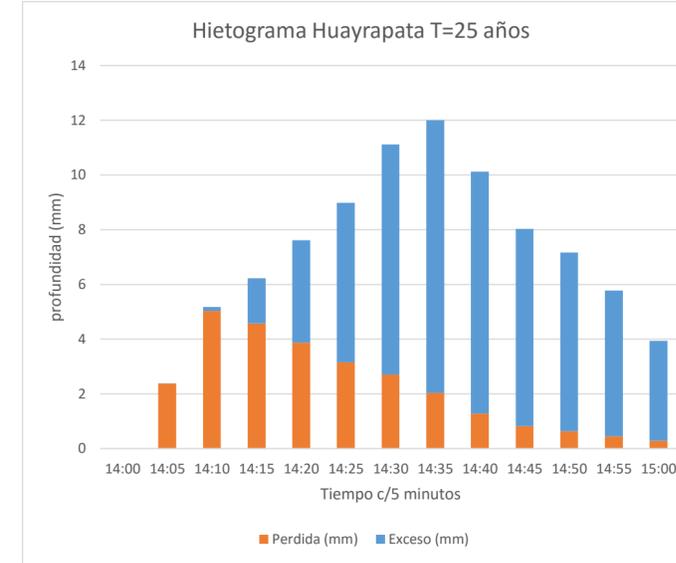
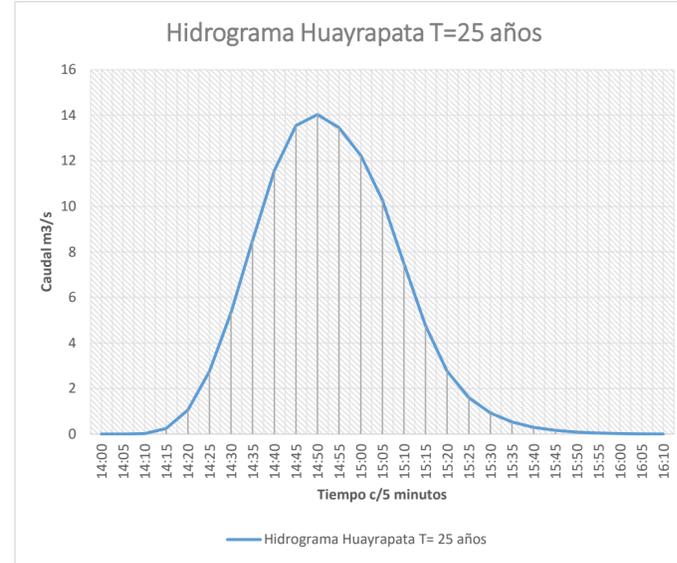
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.02	2	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	4.36	4.3	0.06	0.01	0.01
7 Mar 16	14:15	5.25	4.25	1	0.13	0.13
7 Mar 16	14:20	6.42	3.74	2.68	0.67	0.67
7 Mar 16	14:25	7.57	3.15	4.42	1.89	1.89
7 Mar 16	14:30	9.36	2.77	6.59	3.87	3.87
7 Mar 16	14:35	10.11	2.15	7.96	6.44	6.44
7 Mar 16	14:40	8.52	1.37	7.15	8.99	8.99
7 Mar 16	14:45	6.76	0.89	5.87	10.69	10.69
7 Mar 16	14:50	6.04	0.68	5.36	11.2	11.2
7 Mar 16	14:55	4.87	0.49	4.38	10.83	10.83
7 Mar 16	15:00	3.32	0.3	3.02	9.91	9.91
7 Mar 16	15:05	0	0	0	8.36	8.36
7 Mar 16	15:10	0	0	0	6.11	6.11
7 Mar 16	15:15	0	0	0	3.89	3.89
7 Mar 16	15:20	0	0	0	2.26	2.26
7 Mar 16	15:25	0	0	0	1.31	1.31
7 Mar 16	15:30	0	0	0	0.76	0.76
7 Mar 16	15:35	0	0	0	0.44	0.44
7 Mar 16	15:40	0	0	0	0.25	0.25
7 Mar 16	15:45	0	0	0	0.14	0.14
7 Mar 16	15:50	0	0	0	0.07	0.07
7 Mar 16	15:55	0	0	0	0.04	0.04
7 Mar 16	16:00	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	16:05	0	0	0	0	0
7 Mar 16	16:10	0	0	0	0	0
Sumatoria		74.6	26.09	48.51		



Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

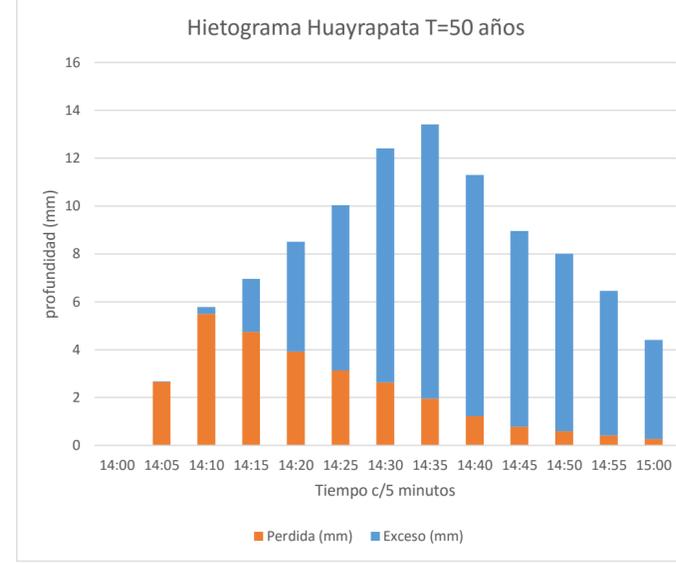
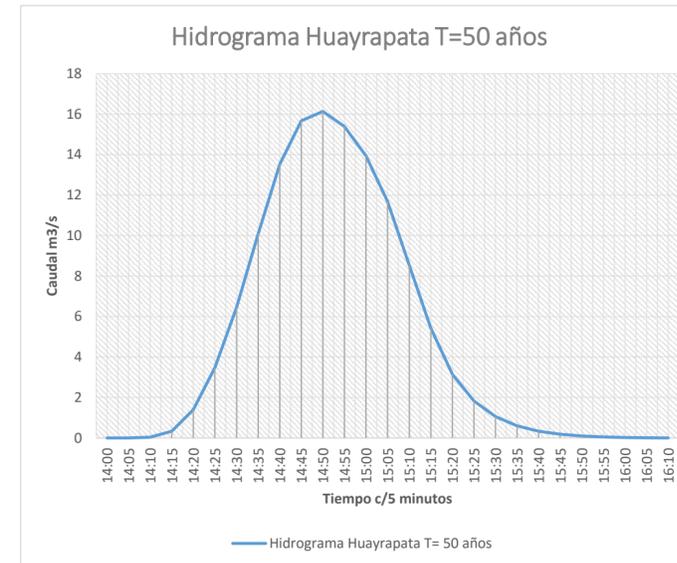
Hidrograma Huayrapata T= 25 años

Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.39	2.37	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	5.18	5.03	0.15	0.02	0.02
7 Mar 16	14:15	6.23	4.57	1.66	0.24	0.24
7 Mar 16	14:20	7.62	3.87	3.75	1.06	1.06
7 Mar 16	14:25	8.98	3.15	5.83	2.76	2.76
7 Mar 16	14:30	11.11	2.7	8.41	5.33	5.33
7 Mar 16	14:35	12	2.04	9.96	8.5	8.5
7 Mar 16	14:40	10.12	1.28	8.84	11.57	11.57
7 Mar 16	14:45	8.03	0.82	7.21	13.54	13.54
7 Mar 16	14:50	7.17	0.63	6.54	14.03	14.03
7 Mar 16	14:55	5.78	0.45	5.33	13.45	13.45
7 Mar 16	15:00	3.94	0.28	3.66	12.23	12.23
7 Mar 16	15:05	0	0	0	10.27	10.27
7 Mar 16	15:10	0	0	0	7.49	7.49
7 Mar 16	15:15	0	0	0	4.77	4.77
7 Mar 16	15:20	0	0	0	2.77	2.77
7 Mar 16	15:25	0	0	0	1.6	1.6
7 Mar 16	15:30	0	0	0	0.93	0.93
7 Mar 16	15:35	0	0	0	0.53	0.53
7 Mar 16	15:40	0	0	0	0.3	0.3
7 Mar 16	15:45	0	0	0	0.16	0.16
7 Mar 16	15:50	0	0	0	0.09	0.09
7 Mar 16	15:55	0	0	0	0.04	0.04
7 Mar 16	16:00	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	16:05	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	16:10	0	0	0	0	0
Sumatoria		88.55	27.19	61.36		



Hidrograma Huayrapata T= 50 años

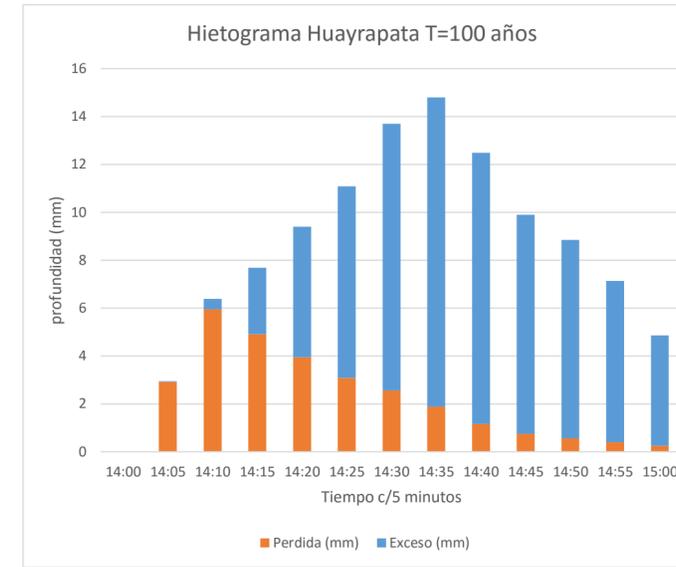
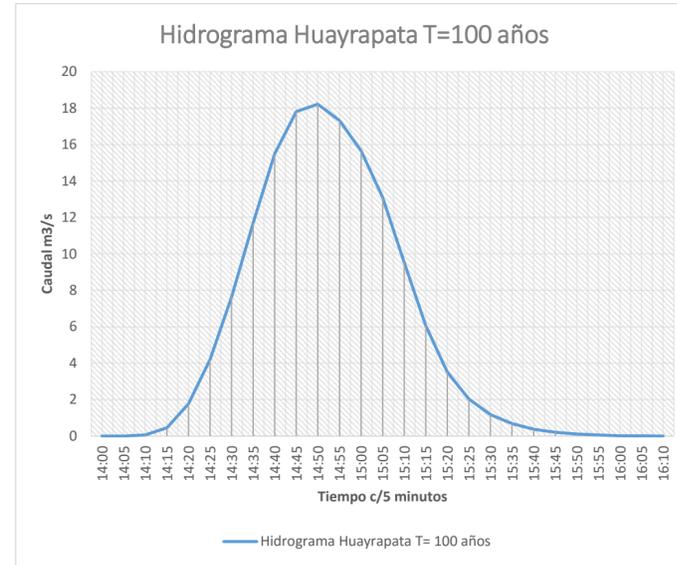
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.68	2.65	0.03	0	0
7 Mar 16	14:10	5.78	5.5	0.28	0.04	0.04
7 Mar 16	14:15	6.96	4.75	2.21	0.34	0.34
7 Mar 16	14:20	8.51	3.92	4.59	1.4	1.4
7 Mar 16	14:25	10.04	3.13	6.91	3.47	3.47
7 Mar 16	14:30	12.41	2.63	9.78	6.47	6.47
7 Mar 16	14:35	13.41	1.96	11.45	10.09	10.09
7 Mar 16	14:40	11.3	1.22	10.08	13.53	13.53
7 Mar 16	14:45	8.96	0.78	8.18	15.67	15.67
7 Mar 16	14:50	8.01	0.59	7.42	16.13	16.13
7 Mar 16	14:55	6.46	0.42	6.04	15.39	15.39
7 Mar 16	15:00	4.41	0.26	4.15	13.94	13.94
7 Mar 16	15:05	0	0	0	11.69	11.69
7 Mar 16	15:10	0	0	0	8.52	8.52
7 Mar 16	15:15	0	0	0	5.42	5.42
7 Mar 16	15:20	0	0	0	3.14	3.14
7 Mar 16	15:25	0	0	0	1.82	1.82
7 Mar 16	15:30	0	0	0	1.06	1.06
7 Mar 16	15:35	0	0	0	0.6	0.6
7 Mar 16	15:40	0	0	0	0.34	0.34
7 Mar 16	15:45	0	0	0	0.19	0.19
7 Mar 16	15:50	0	0	0	0.1	0.1
7 Mar 16	15:55	0	0	0	0.05	0.05
7 Mar 16	16:00	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	16:05	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	16:10	0	0	0	0	0
Sumatoria		98.93	27.81	71.12		



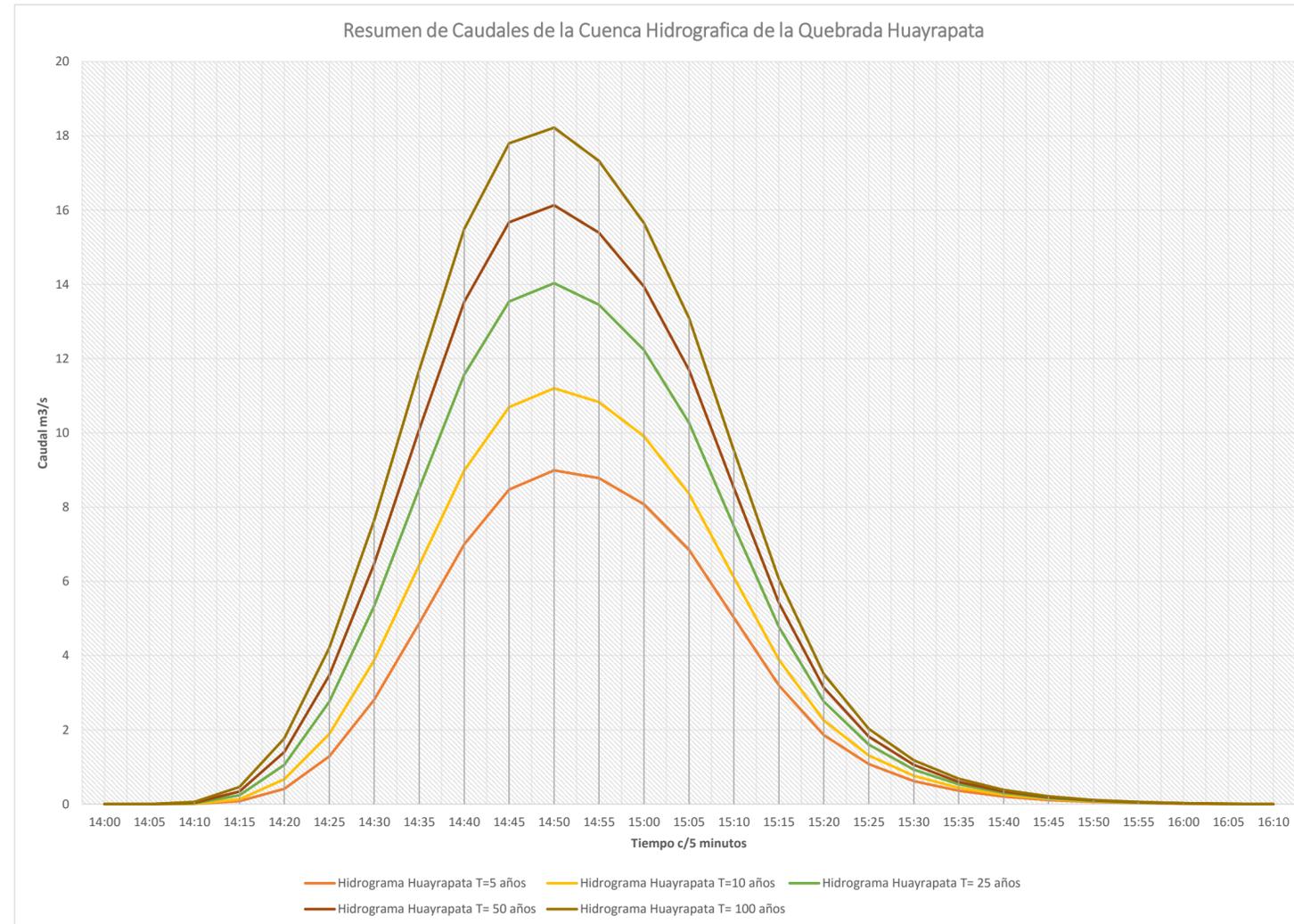
Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Huayrapata T= 100 años

Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.95	2.92	0.03	0	0
7 Mar 16	14:10	6.39	5.95	0.44	0.06	0.06
7 Mar 16	14:15	7.69	4.91	2.78	0.46	0.46
7 Mar 16	14:20	9.4	3.95	5.45	1.77	1.77
7 Mar 16	14:25	11.08	3.09	7.99	4.21	4.21
7 Mar 16	14:30	13.7	2.56	11.14	7.64	7.64
7 Mar 16	14:35	14.8	1.88	12.92	11.69	11.69
7 Mar 16	14:40	12.48	1.16	11.32	15.49	15.49
7 Mar 16	14:45	9.9	0.74	9.16	17.8	17.8
7 Mar 16	14:50	8.85	0.56	8.29	18.22	18.22
7 Mar 16	14:55	7.13	0.39	6.74	17.32	17.32
7 Mar 16	15:00	4.86	0.24	4.62	15.65	15.65
7 Mar 16	15:05	0	0	0	13.09	13.09
7 Mar 16	15:10	0	0	0	9.53	9.53
7 Mar 16	15:15	0	0	0	6.06	6.06
7 Mar 16	15:20	0	0	0	3.51	3.51
7 Mar 16	15:25	0	0	0	2.03	2.03
7 Mar 16	15:30	0	0	0	1.18	1.18
7 Mar 16	15:35	0	0	0	0.68	0.68
7 Mar 16	15:40	0	0	0	0.38	0.38
7 Mar 16	15:45	0	0	0	0.21	0.21
7 Mar 16	15:50	0	0	0	0.11	0.11
7 Mar 16	15:55	0	0	0	0.06	0.06
7 Mar 16	16:00	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	16:05	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	16:10	0	0	0	0	0
Sumatoria		109.23	28.35	80.88		



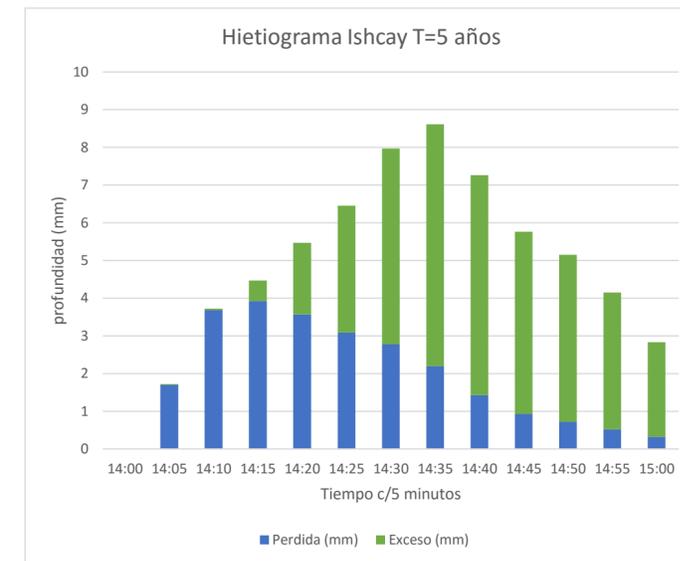
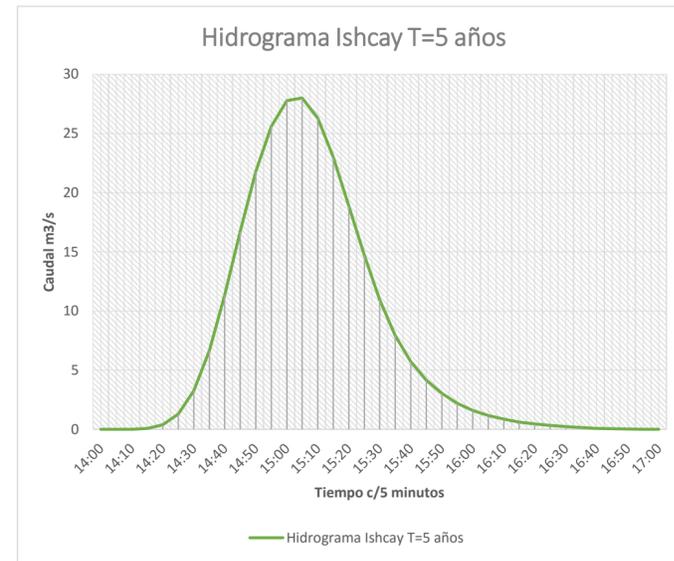
Periodo de Retorno	Precipitacion Caida Volumen (mm)	Precipitacion de Perdida Volumen (mm)	Precipitacion de Exceso Volumen (mm)	Caudal Maximo (m3/s)
T=5 años	63.56	24.99	38.57	8.99
T=10 años	74.6	26.09	48.51	11.2
T=25 años	88.55	27.19	61.36	14.03
T=50 años	98.93	27.81	71.12	16.13
T=100 años	109.23	28.35	80.88	18.22



Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Ishcay T=5 años

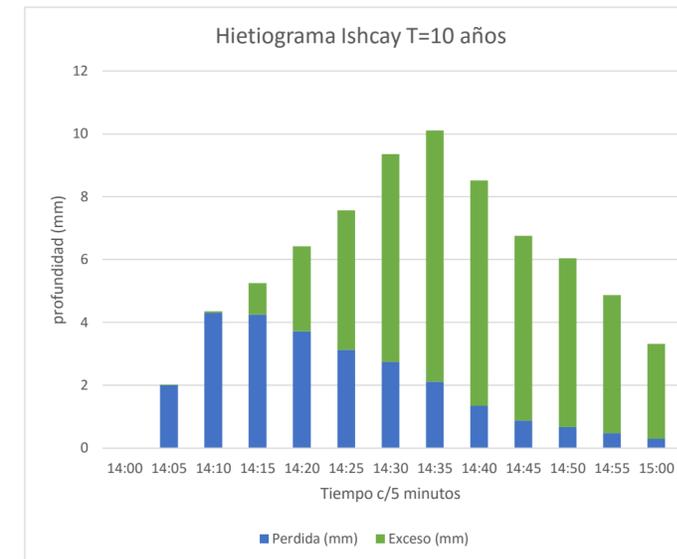
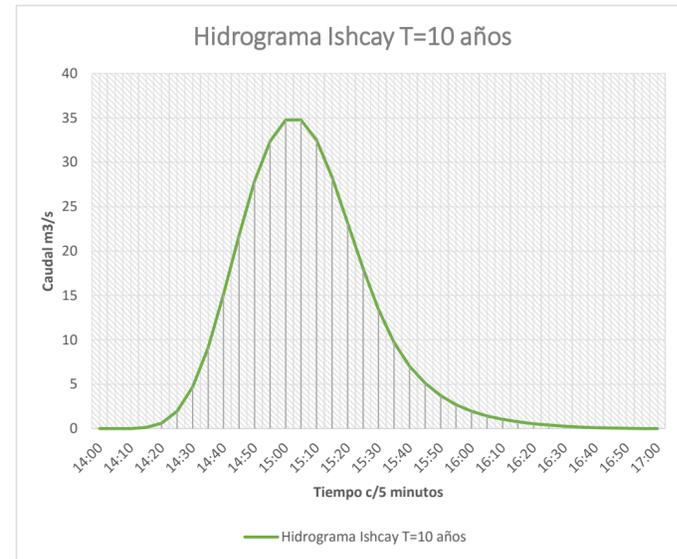
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	1.72	1.7	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	3.72	3.68	0.04	0.01	0.01
7 Mar 16	14:15	4.47	3.92	0.55	0.08	0.08
7 Mar 16	14:20	5.47	3.57	1.9	0.39	0.39
7 Mar 16	14:25	6.45	3.09	3.36	1.29	1.29
7 Mar 16	14:30	7.97	2.78	5.19	3.27	3.27
7 Mar 16	14:35	8.61	2.2	6.41	6.65	6.65
7 Mar 16	14:40	7.26	1.43	5.83	11.34	11.34
7 Mar 16	14:45	5.76	0.93	4.83	16.72	16.72
7 Mar 16	14:50	5.15	0.72	4.43	21.78	21.78
7 Mar 16	14:55	4.15	0.52	3.63	25.61	25.61
7 Mar 16	15:00	2.83	0.32	2.51	27.77	27.77
7 Mar 16	15:05	0	0	0	28	28
7 Mar 16	15:10	0	0	0	26.31	26.31
7 Mar 16	15:15	0	0	0	23.01	23.01
7 Mar 16	15:20	0	0	0	18.87	18.87
7 Mar 16	15:25	0	0	0	14.69	14.69
7 Mar 16	15:30	0	0	0	10.95	10.95
7 Mar 16	15:35	0	0	0	7.93	7.93
7 Mar 16	15:40	0	0	0	5.72	5.72
7 Mar 16	15:45	0	0	0	4.16	4.16
7 Mar 16	15:50	0	0	0	3.03	3.03
7 Mar 16	15:55	0	0	0	2.2	2.2
7 Mar 16	16:00	0	0	0	1.6	1.6
7 Mar 16	16:05	0	0	0	1.17	1.17
7 Mar 16	16:10	0	0	0	0.85	0.85
7 Mar 16	16:15	0	0	0	0.62	0.62
7 Mar 16	16:20	0	0	0	0.45	0.45
7 Mar 16	16:25	0	0	0	0.32	0.32
7 Mar 16	16:30	0	0	0	0.22	0.22
7 Mar 16	16:35	0	0	0	0.15	0.15
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.09	0.09
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.06	0.06
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.03	0.03
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0	0
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0	0
Sumatoria		63.56	24.86	38.7		



Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Ishcay T=10 años

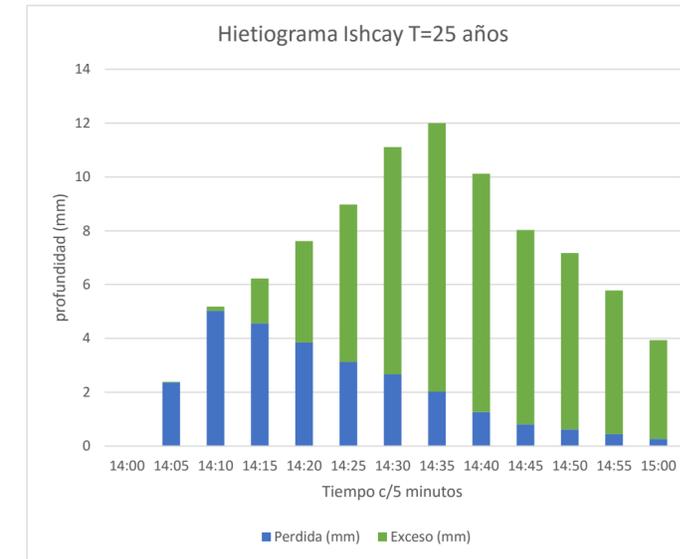
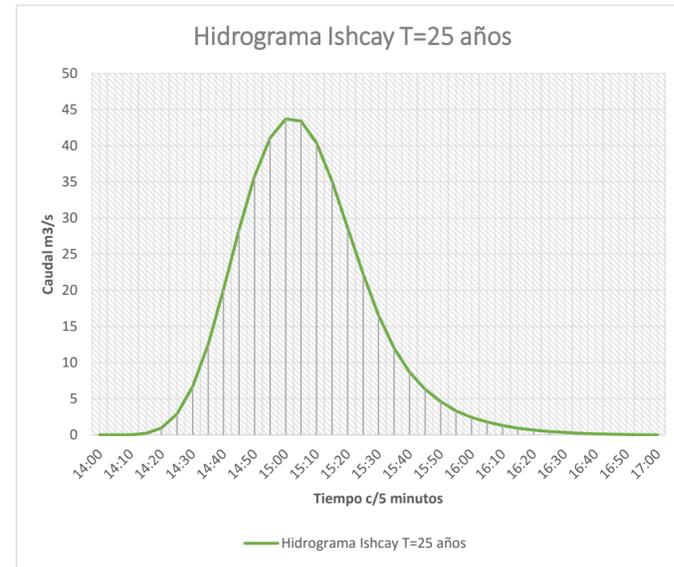
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.02	2	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	4.36	4.31	0.05	0.01	0.01
7 Mar 16	14:15	5.25	4.25	1	0.13	0.13
7 Mar 16	14:20	6.42	3.72	2.7	0.61	0.61
7 Mar 16	14:25	7.57	3.13	4.44	1.95	1.95
7 Mar 16	14:30	9.36	2.75	6.61	4.68	4.68
7 Mar 16	14:35	10.11	2.12	7.99	9.13	9.13
7 Mar 16	14:40	8.52	1.35	7.17	15.09	15.09
7 Mar 16	14:45	6.76	0.88	5.88	21.76	21.76
7 Mar 16	14:50	6.04	0.67	5.37	27.88	27.88
7 Mar 16	14:55	4.87	0.48	4.39	32.36	32.36
7 Mar 16	15:00	3.32	0.3	3.02	34.75	34.75
7 Mar 16	15:05	0	0	0	34.77	34.77
7 Mar 16	15:10	0	0	0	32.5	32.5
7 Mar 16	15:15	0	0	0	28.32	28.32
7 Mar 16	15:20	0	0	0	23.17	23.17
7 Mar 16	15:25	0	0	0	18.02	18.02
7 Mar 16	15:30	0	0	0	13.42	13.42
7 Mar 16	15:35	0	0	0	9.72	9.72
7 Mar 16	15:40	0	0	0	7.01	7.01
7 Mar 16	15:45	0	0	0	5.11	5.11
7 Mar 16	15:50	0	0	0	3.72	3.72
7 Mar 16	15:55	0	0	0	2.7	2.7
7 Mar 16	16:00	0	0	0	1.97	1.97
7 Mar 16	16:05	0	0	0	1.43	1.43
7 Mar 16	16:10	0	0	0	1.04	1.04
7 Mar 16	16:15	0	0	0	0.76	0.76
7 Mar 16	16:20	0	0	0	0.55	0.55
7 Mar 16	16:25	0	0	0	0.39	0.39
7 Mar 16	16:30	0	0	0	0.27	0.27
7 Mar 16	16:35	0	0	0	0.18	0.18
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.11	0.11
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.07	0.07
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.04	0.04
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0	0
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0	0
Sumatoria		74.6	25.96	48.64		



Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Ishcay T=25 años

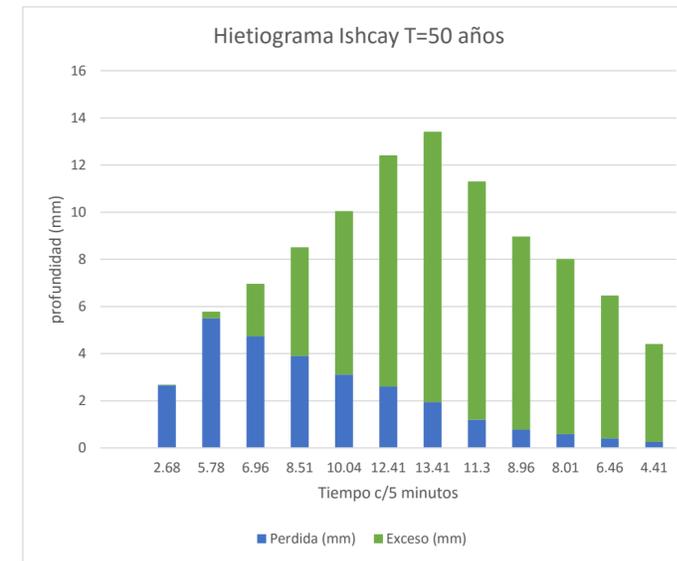
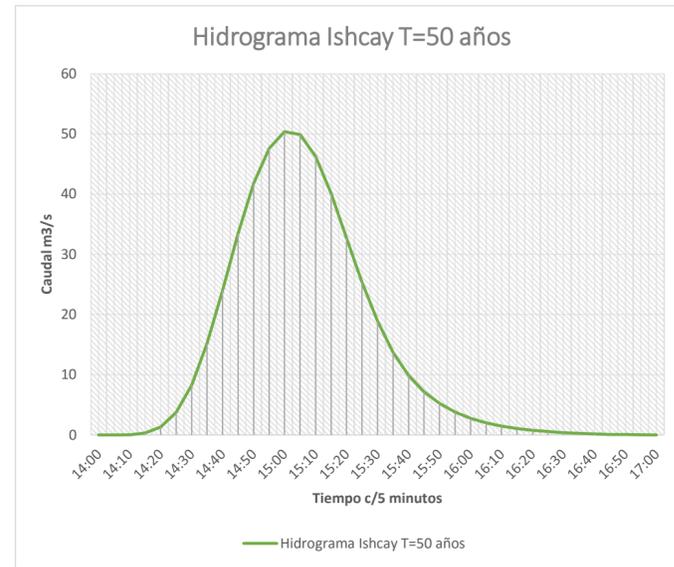
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.39	2.37	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	5.18	5.03	0.15	0.02	0.02
7 Mar 16	14:15	6.23	4.56	1.67	0.22	0.22
7 Mar 16	14:20	7.62	3.85	3.77	0.98	0.98
7 Mar 16	14:25	8.98	3.13	5.85	2.92	2.92
7 Mar 16	14:30	11.11	2.67	8.44	6.68	6.68
7 Mar 16	14:35	12	2.02	9.98	12.52	12.52
7 Mar 16	14:40	10.12	1.27	8.85	20.11	20.11
7 Mar 16	14:45	8.03	0.81	7.22	28.39	28.39
7 Mar 16	14:50	7.17	0.62	6.55	35.8	35.8
7 Mar 16	14:55	5.78	0.44	5.34	41.07	41.07
7 Mar 16	15:00	3.94	0.27	3.67	43.69	43.69
7 Mar 16	15:05	0	0	0	43.42	43.42
7 Mar 16	15:10	0	0	0	40.39	40.39
7 Mar 16	15:15	0	0	0	35.08	35.08
7 Mar 16	15:20	0	0	0	28.64	28.64
7 Mar 16	15:25	0	0	0	22.24	22.24
7 Mar 16	15:30	0	0	0	16.56	16.56
7 Mar 16	15:35	0	0	0	12	12
7 Mar 16	15:40	0	0	0	8.65	8.65
7 Mar 16	15:45	0	0	0	6.3	6.3
7 Mar 16	15:50	0	0	0	4.59	4.59
7 Mar 16	15:55	0	0	0	3.34	3.34
7 Mar 16	16:00	0	0	0	2.43	2.43
7 Mar 16	16:05	0	0	0	1.77	1.77
7 Mar 16	16:10	0	0	0	1.29	1.29
7 Mar 16	16:15	0	0	0	0.94	0.94
7 Mar 16	16:20	0	0	0	0.68	0.68
7 Mar 16	16:25	0	0	0	0.48	0.48
7 Mar 16	16:30	0	0	0	0.33	0.33
7 Mar 16	16:35	0	0	0	0.22	0.22
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.14	0.14
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.08	0.08
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.04	0.04
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0	0
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0	0
Sumatoria		88.55	27.04	61.51		



Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Ishcay T=50 años

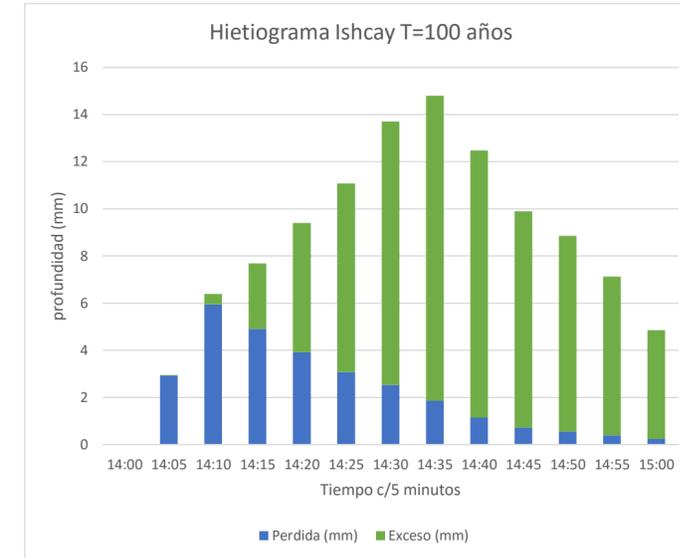
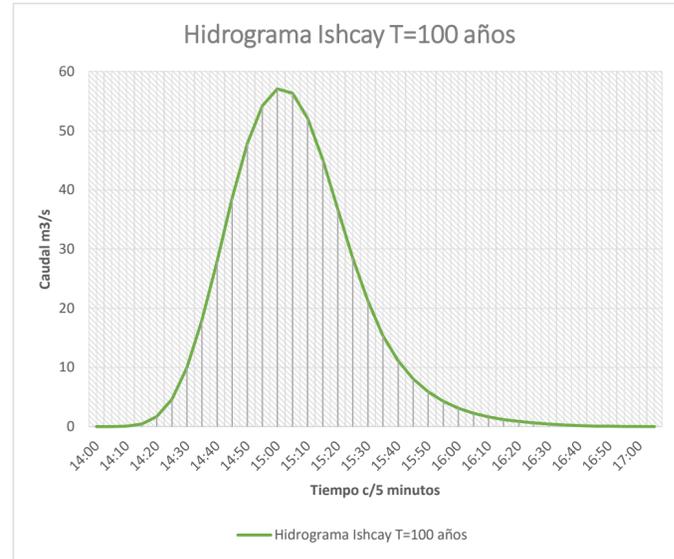
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.68	2.65	0.03	0	0
7 Mar 16	14:10	5.78	5.5	0.28	0.03	0.03
7 Mar 16	14:15	6.96	4.74	2.22	0.31	0.31
7 Mar 16	14:20	8.51	3.9	4.61	1.31	1.31
7 Mar 16	14:25	10.04	3.11	6.93	3.74	3.74
7 Mar 16	14:30	12.41	2.6	9.81	8.3	8.3
7 Mar 16	14:35	13.41	1.94	11.47	15.21	15.21
7 Mar 16	14:40	11.3	1.2	10.1	24.01	24.01
7 Mar 16	14:45	8.96	0.77	8.19	33.47	33.47
7 Mar 16	14:50	8.01	0.58	7.43	41.81	41.81
7 Mar 16	14:55	6.46	0.41	6.05	47.62	47.62
7 Mar 16	15:00	4.41	0.26	4.15	50.38	50.38
7 Mar 16	15:05	0	0	0	49.88	49.88
7 Mar 16	15:10	0	0	0	46.26	46.26
7 Mar 16	15:15	0	0	0	40.11	40.11
7 Mar 16	15:20	0	0	0	32.72	32.72
7 Mar 16	15:25	0	0	0	25.39	25.39
7 Mar 16	15:30	0	0	0	18.91	18.91
7 Mar 16	15:35	0	0	0	13.69	13.69
7 Mar 16	15:40	0	0	0	9.88	9.88
7 Mar 16	15:45	0	0	0	7.19	7.19
7 Mar 16	15:50	0	0	0	5.24	5.24
7 Mar 16	15:55	0	0	0	3.81	3.81
7 Mar 16	16:00	0	0	0	2.77	2.77
7 Mar 16	16:05	0	0	0	2.02	2.02
7 Mar 16	16:10	0	0	0	1.47	1.47
7 Mar 16	16:15	0	0	0	1.07	1.07
7 Mar 16	16:20	0	0	0	0.77	0.77
7 Mar 16	16:25	0	0	0	0.55	0.55
7 Mar 16	16:30	0	0	0	0.38	0.38
7 Mar 16	16:35	0	0	0	0.25	0.25
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.16	0.16
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.09	0.09
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.05	0.05
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0	0
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0	0
Sumatoria		98.93	27.66	71.27		



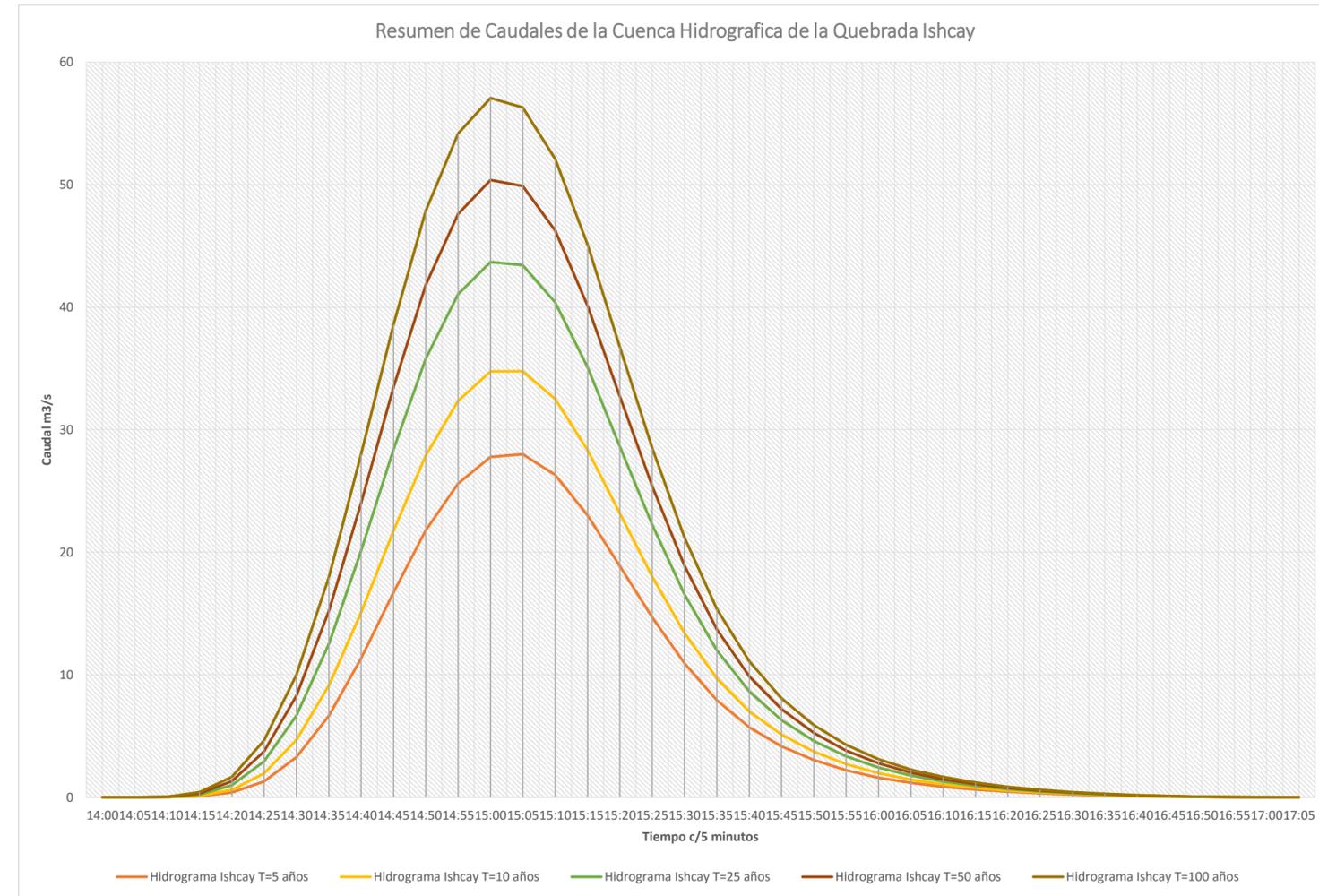
Sección 6.9. Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Ishcay T=100 años

Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.95	2.92	0.03	0	0
7 Mar 16	14:10	6.39	5.95	0.44	0.05	0.05
7 Mar 16	14:15	7.69	4.9	2.79	0.42	0.42
7 Mar 16	14:20	9.4	3.92	5.48	1.67	1.67
7 Mar 16	14:25	11.08	3.07	8.01	4.63	4.63
7 Mar 16	14:30	13.7	2.53	11.17	10.01	10.01
7 Mar 16	14:35	14.8	1.86	12.94	17.98	17.98
7 Mar 16	14:40	12.48	1.15	11.33	27.99	27.99
7 Mar 16	14:45	9.9	0.73	9.17	38.6	38.6
7 Mar 16	14:50	8.85	0.55	8.3	47.85	47.85
7 Mar 16	14:55	7.13	0.39	6.74	54.17	54.17
7 Mar 16	15:00	4.86	0.24	4.62	57.07	57.07
7 Mar 16	15:05	0	0	0	56.31	56.31
7 Mar 16	15:10	0	0	0	52.1	52.1
7 Mar 16	15:15	0	0	0	45.1	45.1
7 Mar 16	15:20	0	0	0	36.76	36.76
7 Mar 16	15:25	0	0	0	28.51	28.51
7 Mar 16	15:30	0	0	0	21.22	21.22
7 Mar 16	15:35	0	0	0	15.37	15.37
7 Mar 16	15:40	0	0	0	11.09	11.09
7 Mar 16	15:45	0	0	0	8.08	8.08
7 Mar 16	15:50	0	0	0	5.88	5.88
7 Mar 16	15:55	0	0	0	4.28	4.28
7 Mar 16	16:00	0	0	0	3.11	3.11
7 Mar 16	16:05	0	0	0	2.26	2.26
7 Mar 16	16:10	0	0	0	1.65	1.65
7 Mar 16	16:15	0	0	0	1.2	1.2
7 Mar 16	16:20	0	0	0	0.86	0.86
7 Mar 16	16:25	0	0	0	0.61	0.61
7 Mar 16	16:30	0	0	0	0.42	0.42
7 Mar 16	16:35	0	0	0	0.28	0.28
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.18	0.18
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.1	0.1
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.05	0.05
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0	0
Sumatoria		109.23	28.21	81.02		



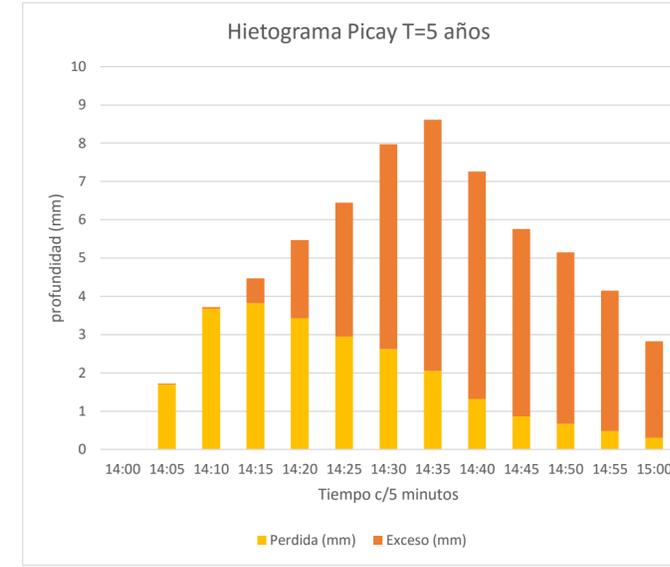
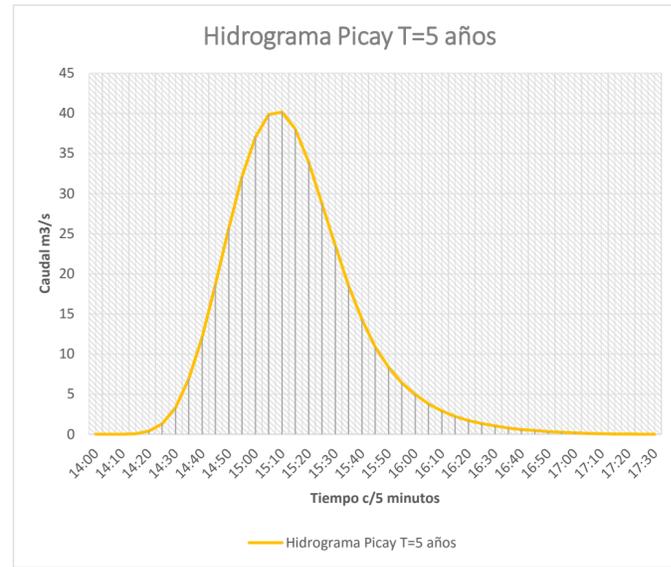
Periodo de Retorno	Precipitacion Volumen (mm)	Perdida Volumen(m)	Exceso Volumen (mm)	Caudal Maximo (m3/s)
T=5 años	63.56	24.86	38.7	28
T=10 años	74.6	25.96	48.64	34.77
T=25 años	88.55	27.04	61.51	43.69
T=50 años	98.93	27.66	71.27	50.38
T=100 años	109.23	28.21	81.02	57.07



Sección 6.9 Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Picay T=5 años

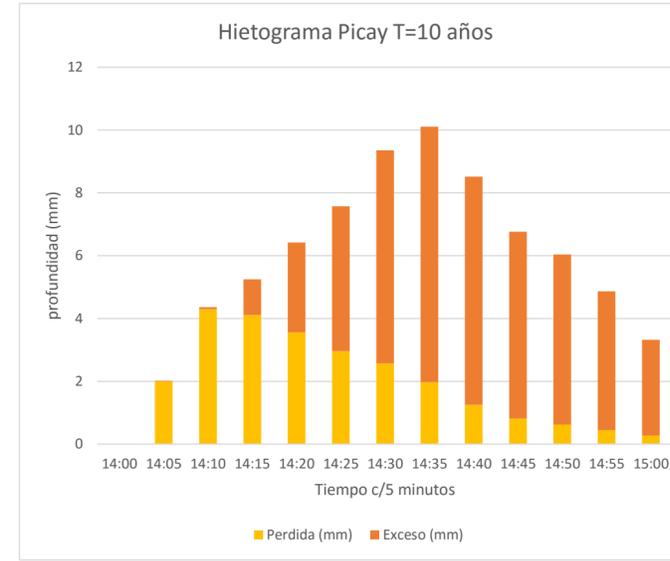
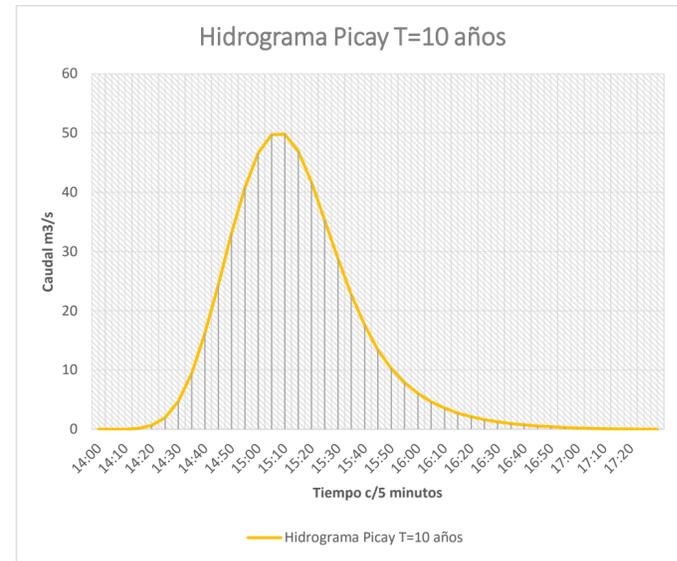
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	1.72	1.7	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	3.72	3.68	0.04	0.01	0.01
7 Mar 16	14:15	4.47	3.82	0.65	0.08	0.08
7 Mar 16	14:20	5.47	3.43	2.04	0.4	0.4
7 Mar 16	14:25	6.45	2.94	3.51	1.31	1.31
7 Mar 16	14:30	7.97	2.62	5.35	3.31	3.31
7 Mar 16	14:35	8.61	2.05	6.56	6.88	6.88
7 Mar 16	14:40	7.26	1.32	5.94	12.11	12.11
7 Mar 16	14:45	5.76	0.86	4.9	18.66	18.66
7 Mar 16	14:50	5.15	0.67	4.48	25.69	25.69
7 Mar 16	14:55	4.15	0.48	3.67	32.12	32.12
7 Mar 16	15:00	2.83	0.3	2.53	37.05	37.05
7 Mar 16	15:05	0	0	0	39.83	39.83
7 Mar 16	15:10	0	0	0	40.15	40.15
7 Mar 16	15:15	0	0	0	38.03	38.03
7 Mar 16	15:20	0	0	0	33.9	33.9
7 Mar 16	15:25	0	0	0	28.76	28.76
7 Mar 16	15:30	0	0	0	23.48	23.48
7 Mar 16	15:35	0	0	0	18.55	18.55
7 Mar 16	15:40	0	0	0	14.32	14.32
7 Mar 16	15:45	0	0	0	10.89	10.89
7 Mar 16	15:50	0	0	0	8.34	8.34
7 Mar 16	15:55	0	0	0	6.42	6.42
7 Mar 16	16:00	0	0	0	4.94	4.94
7 Mar 16	16:05	0	0	0	3.79	3.79
7 Mar 16	16:10	0	0	0	2.91	2.91
7 Mar 16	16:15	0	0	0	2.24	2.24
7 Mar 16	16:20	0	0	0	1.72	1.72
7 Mar 16	16:25	0	0	0	1.32	1.32
7 Mar 16	16:30	0	0	0	1.02	1.02
7 Mar 16	16:35	0	0	0	0.79	0.79
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.6	0.6
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.46	0.46
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.34	0.34
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.25	0.25
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0.17	0.17
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0.11	0.11
7 Mar 16	17:10	0	0	0	0.07	0.07
7 Mar 16	17:15	0	0	0	0.04	0.04
7 Mar 16	17:20	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	17:25	0	0	0	0	0
7 Mar 16	17:30	0	0	0	0	0
Sumatoria		63.56	23.87	39.69		



Sección 6.9 Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Picay T=10 años

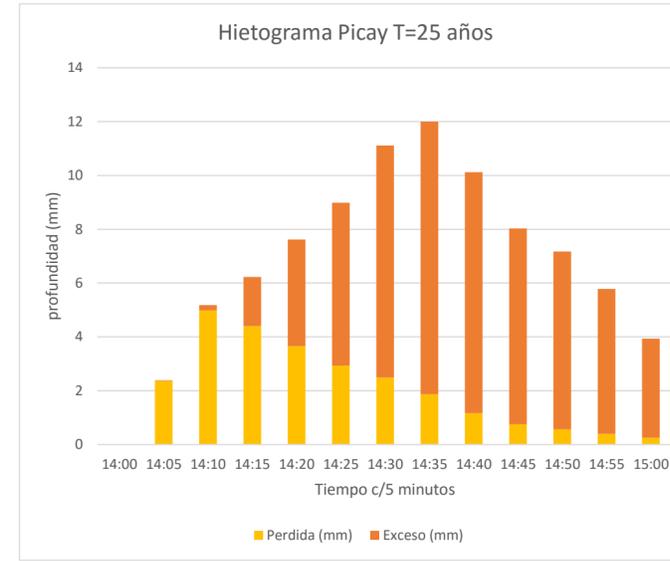
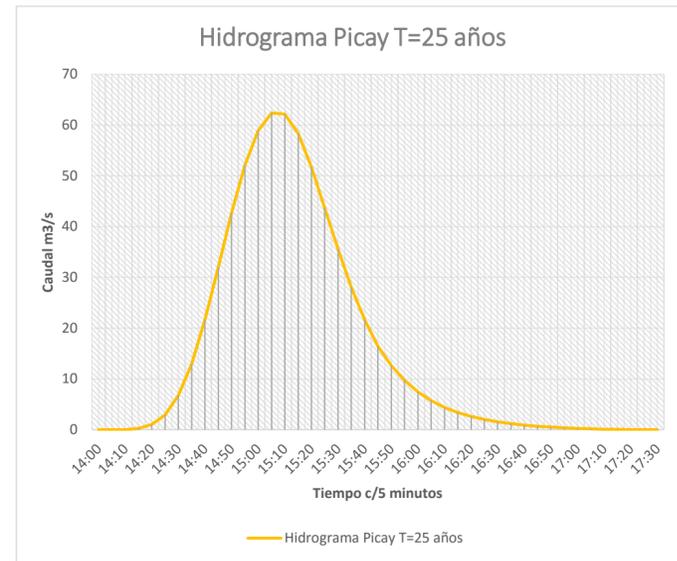
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.02	2	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	4.36	4.29	0.07	0.01	0.01
7 Mar 16	14:15	5.25	4.11	1.14	0.13	0.13
7 Mar 16	14:20	6.42	3.56	2.86	0.63	0.63
7 Mar 16	14:25	7.57	2.96	4.61	1.95	1.95
7 Mar 16	14:30	9.36	2.57	6.79	4.71	4.71
7 Mar 16	14:35	10.11	1.97	8.14	9.45	9.45
7 Mar 16	14:40	8.52	1.25	7.27	16.19	16.19
7 Mar 16	14:45	6.76	0.81	5.95	24.41	24.41
7 Mar 16	14:50	6.04	0.62	5.42	33.07	33.07
7 Mar 16	14:55	4.87	0.44	4.43	40.83	40.83
7 Mar 16	15:00	3.32	0.27	3.05	46.62	46.62
7 Mar 16	15:05	0	0	0	49.71	49.71
7 Mar 16	15:10	0	0	0	49.8	49.8
7 Mar 16	15:15	0	0	0	46.96	46.96
7 Mar 16	15:20	0	0	0	41.73	41.73
7 Mar 16	15:25	0	0	0	35.33	35.33
7 Mar 16	15:30	0	0	0	28.81	28.81
7 Mar 16	15:35	0	0	0	22.75	22.75
7 Mar 16	15:40	0	0	0	17.56	17.56
7 Mar 16	15:45	0	0	0	13.36	13.36
7 Mar 16	15:50	0	0	0	10.23	10.23
7 Mar 16	15:55	0	0	0	7.87	7.87
7 Mar 16	16:00	0	0	0	6.05	6.05
7 Mar 16	16:05	0	0	0	4.65	4.65
7 Mar 16	16:10	0	0	0	3.57	3.57
7 Mar 16	16:15	0	0	0	2.74	2.74
7 Mar 16	16:20	0	0	0	2.11	2.11
7 Mar 16	16:25	0	0	0	1.62	1.62
7 Mar 16	16:30	0	0	0	1.25	1.25
7 Mar 16	16:35	0	0	0	0.96	0.96
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.74	0.74
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.56	0.56
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.42	0.42
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.3	0.3
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0.21	0.21
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0.14	0.14
7 Mar 16	17:10	0	0	0	0.08	0.08
7 Mar 16	17:15	0	0	0	0.05	0.05
7 Mar 16	17:20	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	17:25	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	17:30	0	0	0	0	0
Sumatoria		74.6	24.85	49.75		



Sección 6.9 Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Picay T=25 años

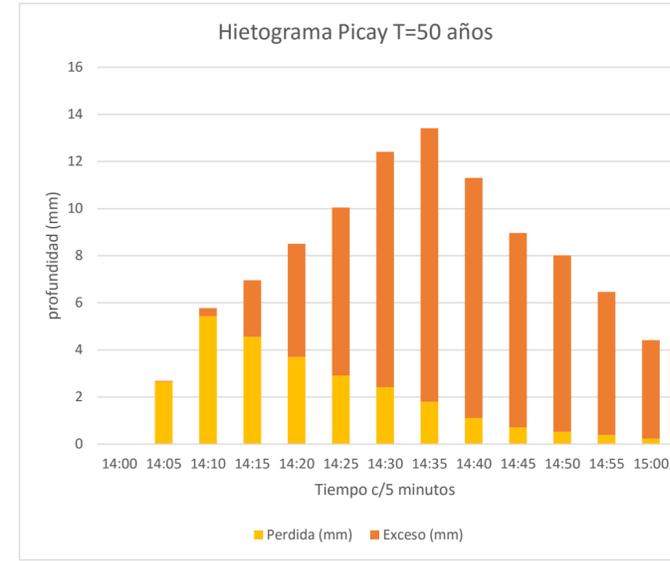
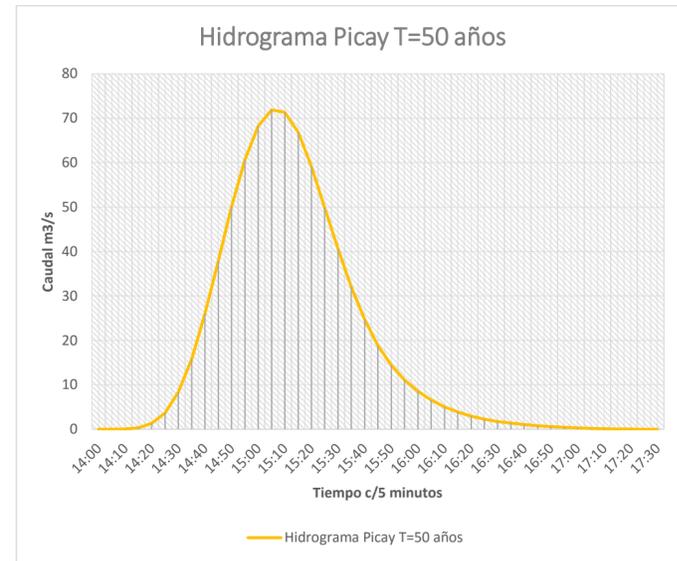
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.39	2.37	0.02	0	0
7 Mar 16	14:10	5.18	4.98	0.2	0.02	0.02
7 Mar 16	14:15	6.23	4.4	1.83	0.23	0.23
7 Mar 16	14:20	7.62	3.66	3.96	1	1
7 Mar 16	14:25	8.98	2.94	6.04	2.9	2.9
7 Mar 16	14:30	11.11	2.49	8.62	6.72	6.72
7 Mar 16	14:35	12	1.87	10.13	13	13
7 Mar 16	14:40	10.12	1.17	8.95	21.68	21.68
7 Mar 16	14:45	8.03	0.75	7.28	32.03	32.03
7 Mar 16	14:50	7.17	0.57	6.6	42.72	42.72
7 Mar 16	14:55	5.78	0.4	5.38	52.12	52.12
7 Mar 16	15:00	3.94	0.25	3.69	58.94	58.94
7 Mar 16	15:05	0	0	0	62.38	62.38
7 Mar 16	15:10	0	0	0	62.14	62.14
7 Mar 16	15:15	0	0	0	58.35	58.35
7 Mar 16	15:20	0	0	0	51.7	51.7
7 Mar 16	15:25	0	0	0	43.69	43.69
7 Mar 16	15:30	0	0	0	35.59	35.59
7 Mar 16	15:35	0	0	0	28.09	28.09
7 Mar 16	15:40	0	0	0	21.67	21.67
7 Mar 16	15:45	0	0	0	16.49	16.49
7 Mar 16	15:50	0	0	0	12.63	12.63
7 Mar 16	15:55	0	0	0	9.72	9.72
7 Mar 16	16:00	0	0	0	7.47	7.47
7 Mar 16	16:05	0	0	0	5.74	5.74
7 Mar 16	16:10	0	0	0	4.4	4.4
7 Mar 16	16:15	0	0	0	3.39	3.39
7 Mar 16	16:20	0	0	0	2.6	2.6
7 Mar 16	16:25	0	0	0	2	2
7 Mar 16	16:30	0	0	0	1.54	1.54
7 Mar 16	16:35	0	0	0	1.19	1.19
7 Mar 16	16:40	0	0	0	0.91	0.91
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.69	0.69
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.52	0.52
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.37	0.37
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0.26	0.26
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0.17	0.17
7 Mar 16	17:10	0	0	0	0.1	0.1
7 Mar 16	17:15	0	0	0	0.06	0.06
7 Mar 16	17:20	0	0	0	0.02	0.02
7 Mar 16	17:25	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	17:30	0	0	0	0	0
Sumatoria		88.55	25.85	62.7		



Sección 6.9 Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Picay T=50 años

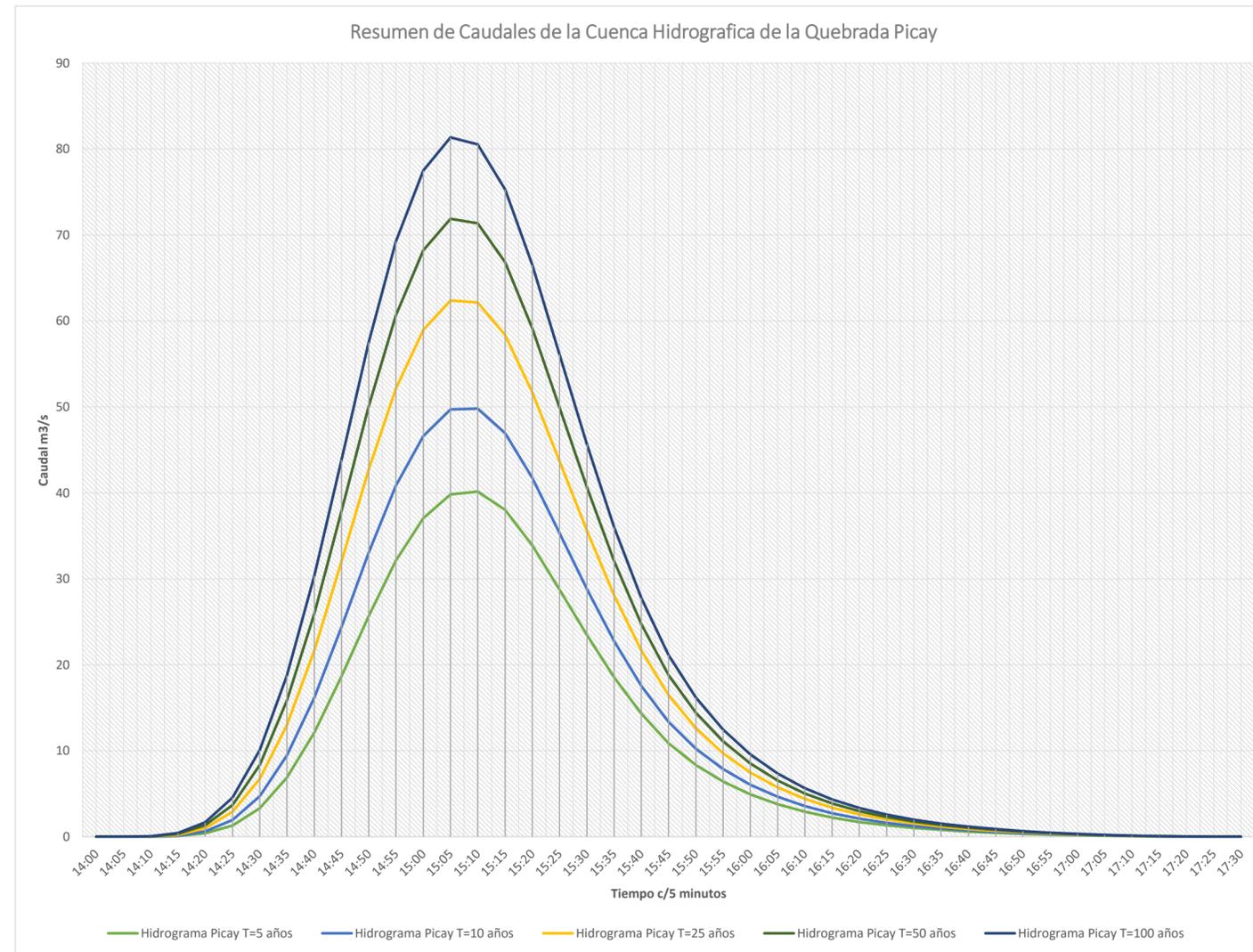
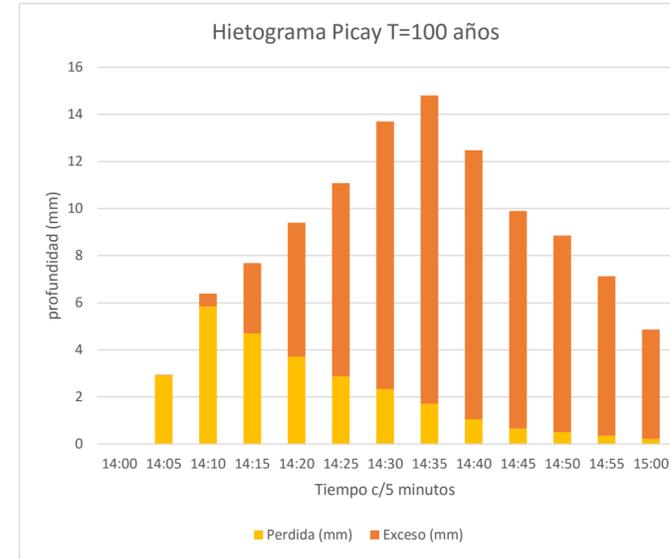
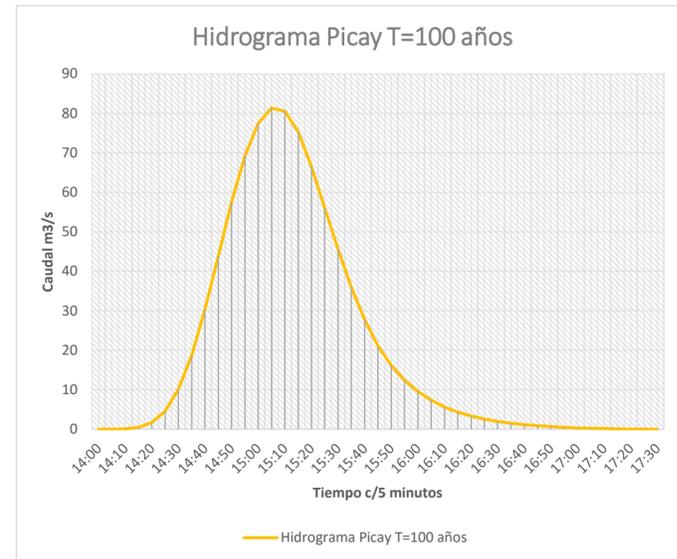
Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.68	2.65	0.03	0	0
7 Mar 16	14:10	5.78	5.43	0.35	0.04	0.04
7 Mar 16	14:15	6.96	4.56	2.4	0.33	0.33
7 Mar 16	14:20	8.51	3.7	4.81	1.32	1.32
7 Mar 16	14:25	10.04	2.91	7.13	3.7	3.7
7 Mar 16	14:30	12.41	2.42	9.99	8.35	8.35
7 Mar 16	14:35	13.41	1.79	11.62	15.83	15.83
7 Mar 16	14:40	11.3	1.11	10.19	25.97	25.97
7 Mar 16	14:45	8.96	0.7	8.26	37.9	37.9
7 Mar 16	14:50	8.01	0.53	7.48	50.09	50.09
7 Mar 16	14:55	6.46	0.38	6.08	60.67	60.67
7 Mar 16	15:00	4.41	0.23	4.18	68.22	68.22
7 Mar 16	15:05	0	0	0	71.88	71.88
7 Mar 16	15:10	0	0	0	71.35	71.35
7 Mar 16	15:15	0	0	0	66.84	66.84
7 Mar 16	15:20	0	0	0	59.13	59.13
7 Mar 16	15:25	0	0	0	49.92	49.92
7 Mar 16	15:30	0	0	0	40.64	40.64
7 Mar 16	15:35	0	0	0	32.06	32.06
7 Mar 16	15:40	0	0	0	24.74	24.74
7 Mar 16	15:45	0	0	0	18.83	18.83
7 Mar 16	15:50	0	0	0	14.42	14.42
7 Mar 16	15:55	0	0	0	11.09	11.09
7 Mar 16	16:00	0	0	0	8.53	8.53
7 Mar 16	16:05	0	0	0	6.55	6.55
7 Mar 16	16:10	0	0	0	5.03	5.03
7 Mar 16	16:15	0	0	0	3.87	3.87
7 Mar 16	16:20	0	0	0	2.97	2.97
7 Mar 16	16:25	0	0	0	2.28	2.28
7 Mar 16	16:30	0	0	0	1.76	1.76
7 Mar 16	16:35	0	0	0	1.36	1.36
7 Mar 16	16:40	0	0	0	1.04	1.04
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.79	0.79
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.59	0.59
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.42	0.42
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0.29	0.29
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0.19	0.19
7 Mar 16	17:10	0	0	0	0.12	0.12
7 Mar 16	17:15	0	0	0	0.06	0.06
7 Mar 16	17:20	0	0	0	0.03	0.03
7 Mar 16	17:25	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	17:30	0	0	0	0	0
Sumatoria		98.93	26.41	72.52		



Sección 6.9 Anexo 9. Generación de Caudales en el Software HEC-HMS para Diferentes Periodos de Retorno de las Cuencas Hidrográficas.

Hidrograma Picay T=100 años

Fecha ficticia	Hora ficticia	precip (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Flujo Directo (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
7 Mar 16	14:00				0	0
7 Mar 16	14:05	2.95	2.92	0.03	0	0
7 Mar 16	14:10	6.39	5.85	0.54	0.06	0.06
7 Mar 16	14:15	7.69	4.7	2.99	0.43	0.43
7 Mar 16	14:20	9.4	3.71	5.69	1.67	1.67
7 Mar 16	14:25	11.08	2.87	8.21	4.56	4.56
7 Mar 16	14:30	13.7	2.34	11.36	10.07	10.07
7 Mar 16	14:35	14.8	1.71	13.09	18.75	18.75
7 Mar 16	14:40	12.48	1.05	11.43	30.35	30.35
7 Mar 16	14:45	9.9	0.66	9.24	43.86	43.86
7 Mar 16	14:50	8.85	0.5	8.35	57.51	57.51
7 Mar 16	14:55	7.13	0.35	6.78	69.25	69.25
7 Mar 16	15:00	4.86	0.22	4.64	77.5	77.5
7 Mar 16	15:05	0	0	0	81.35	81.35
7 Mar 16	15:10	0	0	0	80.54	80.54
7 Mar 16	15:15	0	0	0	75.29	75.29
7 Mar 16	15:20	0	0	0	66.52	66.52
7 Mar 16	15:25	0	0	0	56.1	56.1
7 Mar 16	15:30	0	0	0	45.65	45.65
7 Mar 16	15:35	0	0	0	36.01	36.01
7 Mar 16	15:40	0	0	0	27.78	27.78
7 Mar 16	15:45	0	0	0	21.15	21.15
7 Mar 16	15:50	0	0	0	16.19	16.19
7 Mar 16	15:55	0	0	0	12.46	12.46
7 Mar 16	16:00	0	0	0	9.58	9.58
7 Mar 16	16:05	0	0	0	7.36	7.36
7 Mar 16	16:10	0	0	0	5.65	5.65
7 Mar 16	16:15	0	0	0	4.34	4.34
7 Mar 16	16:20	0	0	0	3.34	3.34
7 Mar 16	16:25	0	0	0	2.56	2.56
7 Mar 16	16:30	0	0	0	1.98	1.98
7 Mar 16	16:35	0	0	0	1.52	1.52
7 Mar 16	16:40	0	0	0	1.17	1.17
7 Mar 16	16:45	0	0	0	0.89	0.89
7 Mar 16	16:50	0	0	0	0.66	0.66
7 Mar 16	16:55	0	0	0	0.47	0.47
7 Mar 16	17:00	0	0	0	0.33	0.33
7 Mar 16	17:05	0	0	0	0.21	0.21
7 Mar 16	17:10	0	0	0	0.13	0.13
7 Mar 16	17:15	0	0	0	0.07	0.07
7 Mar 16	17:20	0	0	0	0.03	0.03
7 Mar 16	17:25	0	0	0	0.01	0.01
7 Mar 16	17:30	0	0	0	0	0
Sumatoria		109.23	26.88	82.35		

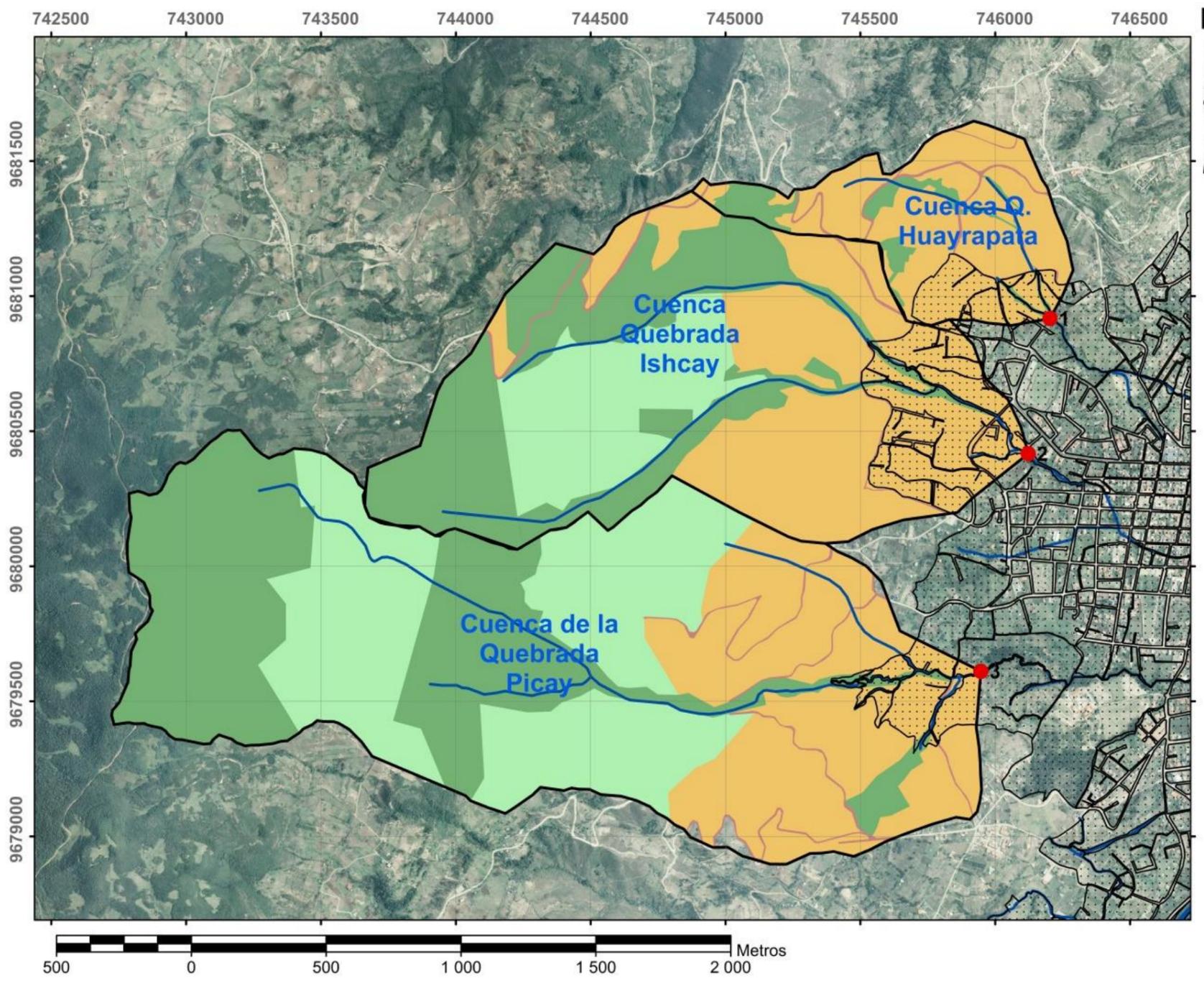


Periodo de Retorno	Precipitacion Volumen (mm)	Perdida Volumen(m m)	Exceso Volumen (mm)	Caudal Maximo (m3/s)
T=5 años	63.56	23.87	39.69	40.15
T=10 años	74.6	24.85	49.75	49.8
T=25 años	88.55	25.85	62.7	62.38
T=50 años	98.93	26.41	72.52	71.88
T=100 años	109.23	26.88	82.35	81.35



## 6.10. ANEXO 10.

PLANO DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE  
APORTE DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE  
GUALACEO – USO DE SUELO.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA  
 UNIDAD ACADEMINA DE INGENIERIA,  
 INDUSTRIAS Y CONSTRUCCION  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

### EVALUACION HIDROLOGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE GUALACEO

Contenido:  
 Cuencas Hidrograficas de aporte de las quebradas de la ciudad de Gualaceo.  
 Puntos de Entrada al Area Urbana.  
 Usos del Suelo de las Cuencas de Aportacion  
 Cauces de las Quebradas Huayrapata, Ishcay y Picay.

Descripcion del Plano:  
 Sistema de Coordenadas: WGS 1984  
 UTM Zone 17S  
 Proyeccion: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Unidades: Metros  
 Escala: 1:15000  
 Fuente: GAD Municipal de Gualaceo - PDOT 2014  
 Elabora: Andres Ulloa Rodas

#### LEYENDA

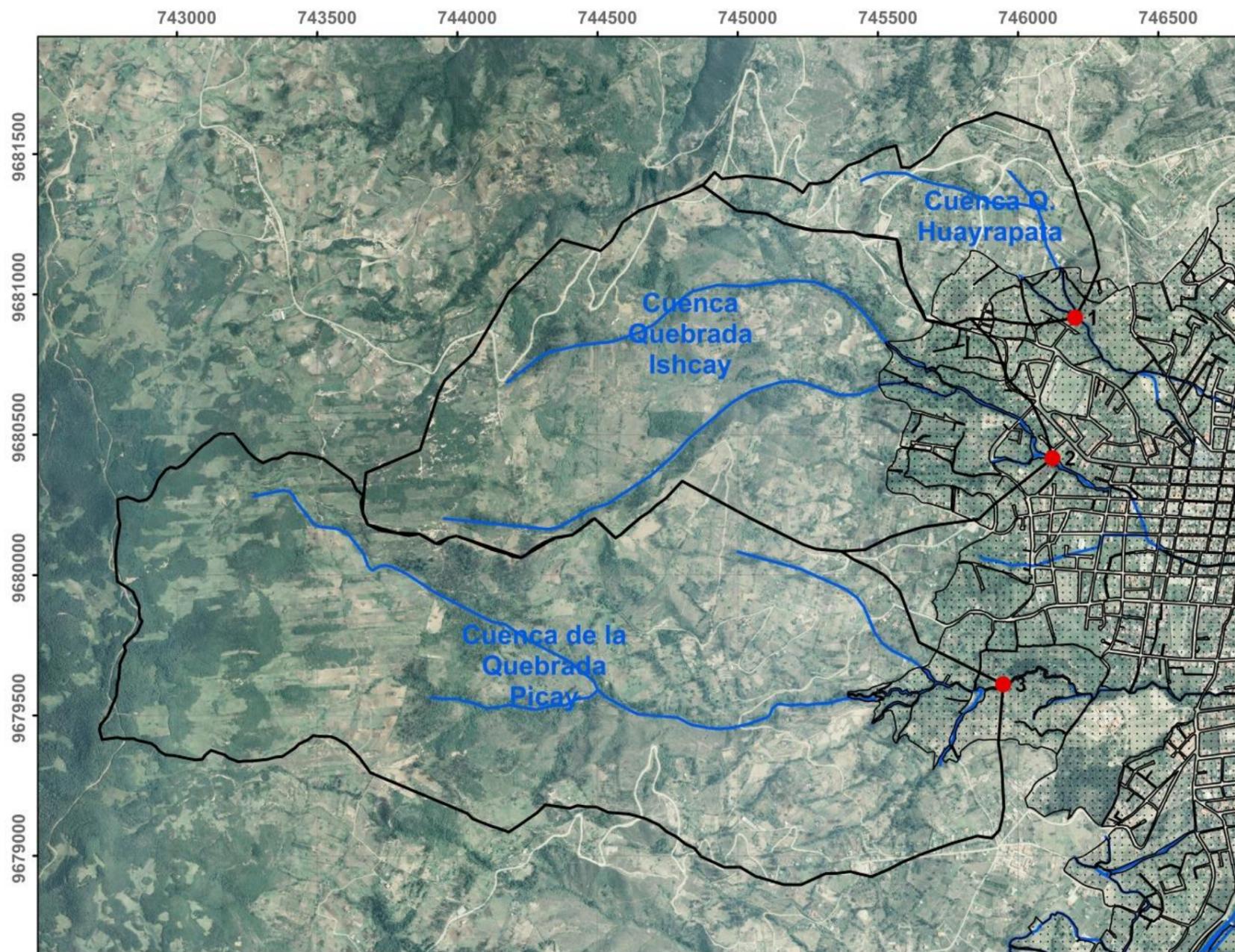
Ingreso al Area Urbana	<b>Quebrada Huayrapata</b>	<b>Quebrada Ishcay</b>	<b>Quebrada Picay</b>	<b>Ortofotografia</b>
Cuadras Urbanas	<b>Usos de la Tierra</b>	<b>Usos de la Tierra</b>	<b>Uso de la Tierra</b>	<b>RGB</b>
Hidrografia	Bosques	Bosque	Bosque	Red: Band_1
	Carreteras	Carreteras	Carreteras	Green: Band_2
	Tierra Cultivada	Pastizales	Pastizales	Blue: Band_3
		Tierra Cultivada	Tierra Cultivada	

Coordenadas UTM. Ingreso al Área Urbana.			
Pto.	Norte (m)	Sur (m)	Descripción
1	9680917.249	746203.305	Quebrada Huayrapata
2	9680416.831	746122.645	Quebrada Ishcay
3	9679611.130	745946.727	Quebrada Picay



## 6.11. ANEXO 11.

PLANO DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE  
APORTE DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE  
GUALACEO – CAUDALES.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA  
 UNIDAD ACADEMINA DE INGENIERIA,  
 INDUSTRIAS Y CONSTRUCCION  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

### EVALUACION HIDROLOGICA DE LAS CUENCAS DE LAS QUEBRADAS DE LA CIUDAD DE GUALACEO

**Contenido:**  
 Cuencas Hidrograficas de aporte de las quebradas de la ciudad de Gualaceo.  
 Puntos de Entrada al Area Urbana.  
 Cauces de las Quebradas Huayrapata, Ishcay y Picay.  
 Resumen de Caudales generados en las cuencas.

**Descripcion del Plano:**  
 Sistema de Coordenadas: WGS 1984  
 UTM Zone 17S  
 Proyeccion: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Unidades: Metros  
 Escala: 1:15000  
 Fuente: GAD Municipal de Gualaceo - PDOT 2014  
 Elabora: Andres Ulloa Rodas



**LEYENDA**

- Ingreso al Area Urbana
- Cuadras Urbanas
- Hidrografia

**Ortofotografia RGB**

- Red: Band\_1
- Green: Band\_2
- Blue: Band\_3

Pto.	Norte (m)	Sur (m)	Descripción
1	9680917.249	746203.305	Quebrada Huayrapata
2	9680416.831	746122.645	Quebrada Ishcay
3	9679611.130	745946.727	Quebrada Picay

Periodo de Retorno	Precipitacion Volumen (mm)	Perdida Volumen(mm)	Exceso Volumen (mm)	Caudal Maximo (m3/s)
T=5 años	63.56	24.99	38.57	8.99
T=10 años	74.6	26.09	48.51	11.2
T=25 años	88.55	27.19	61.36	14.03
T=50 años	98.93	27.81	71.12	16.13
T=100 años	109.23	28.35	80.88	18.22

Periodo de Retorno	Precipitacion Volumen (mm)	Perdida Volumen(mm)	Exceso Volumen (mm)	Caudal Maximo (m3/s)
T=5 años	63.56	24.86	38.7	28
T=10 años	74.6	25.96	48.64	34.77
T=25 años	88.55	27.04	61.51	43.69
T=50 años	98.93	27.66	71.27	50.38
T=100 años	109.23	28.21	81.02	57.07

Periodo de Retorno	Precipitacion Volumen (mm)	Perdida Volumen(mm)	Exceso Volumen (mm)	Caudal Maximo (m3/s)
T=5 años	63.56	23.87	39.69	40.15
T=10 años	74.6	24.85	49.75	49.8
T=25 años	88.55	25.85	62.7	62.38
T=50 años	98.93	26.41	72.52	71.88
T=100 años	109.23	26.88	82.35	81.35