

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Formulación de un programa en MATLAB, aplicado a cálculos
hidrológicos de drenaje transversal en carreteras - 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
Bach. Neil Ever Barzola Cisneros**

**ASESORA:
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos**

Ayacucho - Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS

**Formulación de un programa en MATLAB, aplicado a cálculos
hidrológicos de drenaje transversal en carreteras – 2020**

Expedito : 10 de diciembre del 2021
Sustentación : 10 de enero del 2022
Calificación : Muy bueno
Jurados :



Ing. EFRAÍN CHUCHÓN PRADO
Presidente



M.Sc. Ing. JUAN CHARAPAQUI ANCCASI
Miembro



M.Sc. Ing. RICHARD ALEX OSCCO PECEROS
Miembro



Ph. D. SANDRA DEL ÁGUILA RÍOS
Asesora

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de mi existencia y permitirme alcanzar mis metas.

A mis padres, Pablo Barzola Laurente y Juana Cisneros Cerda, por su sacrificio y apoyo incondicional en mi formación profesional.

A mis hermanos, Delia, Noemi, Rosa, Paolo y Neonel compañeros de toda la vida por su apoyo en cada momento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ciencias Agrarias, en forma muy especial a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme formado para ser útil a la sociedad y mi país.

A la Ph. D. Sandra Del Águila Ríos, asesora del presente proyecto, por su apoyo y orientación incondicional en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A los miembros del Jurado Ing. Efraín Chuchón Prado, MSc. Ing. Juan Charapaqui Anccasi y el MSc. Ing. Richard Alex Oscoco Peceros por su las correcciones y sugerencias en la elaboración del presente trabajo de investigación.

De manera especial, a todas las personas que estuvieron apoyándome a cada momento en la elaboración del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes de la investigación.....	5
1.2. MATLAB.....	6
1.2.1. Definición.....	6
1.2.2. Características de MATLAB.....	8
1.2.3. Operadores aritméticos de MATLAB.....	8
1.2.4. Los operadores relacionales y lógicos.....	8
1.2.5. Funciones en MATLAB.....	9
1.2.6. Algoritmos.....	9
1.2.6.1. Estructura de un algoritmo.....	10
1.2.6.2. Lenguajes para escribir algoritmos.....	10
1.2.6.3. Definiciones.....	11
1.2.7. Aplicaciones.....	11
1.3. Drenaje transversal de carreteras.....	11
1.3.1. Premisas para el estudio.....	12
1.4. Cuenca hidrográfica y geomorfología.....	13
1.4.1. Cuenca hidrográfica.....	13
1.4.2. Clasificación de cuenca.....	14

1.4.2.1. En relación al tamaño	14
1.4.2.2. En función a la salida.....	15
1.4.2.3. En función a la elevación	15
1.4.3. Delimitación de una cuenca.....	16
1.4.4. Características físicas de las cuencas.....	17
1.4.4.1. Área de la cuenca hidrográfica	17
1.4.4.2. Perímetro de una Cuenca.....	17
1.4.4.3. Longitud del cauce	17
1.4.4.4. Longitud del cauce	18
1.4.4.5. Cota más alto de la cuenca	18
1.4.4.6. Cota de salida	18
1.4.4.7. Forma de la cuenca	18
1.4.5. Parámetros geomorfológicos de la cuenca	18
1.4.5.1. Parámetros de forma de la cuenca	19
1.4.5.2. Parámetros de relieve.....	23
1.4.5.3. Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	24
1.4.6. Tiempo de concentración.....	26
1.5. Parámetros hidrológicos	27
1.5.1. Hidrología.....	27
1.5.2. El ciclo hidrológico	27
1.5.3. Precipitación	28
1.5.3.1. Estaciones meteorológicas.....	28
1.5.3.2. Precipitación máxima en 24 horas.....	29
1.5.3.3. Precipitación máxima probable	30
1.5.3.4. Precipitación total y efectiva	30
1.5.4. Periodo de retorno	34
1.5.5. Análisis estadístico de datos hidrológicos	35

1.5.5.1. Parámetros usados en análisis de datos hidrológicos	35
1.5.5.2. Prueba de datos dudosos método del Water Resources.....	37
1.5.5.3. Funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.....	39
1.5.5.4. Pruebas de bondad de ajuste.....	40
1.5.5.5. Análisis de frecuencia de eventos extremos.....	41
1.5.6. Determinación de la Tormenta de diseño	45
1.5.6.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.....	45
1.6. Estimación de caudales.....	48
1.6.1. Método racional.....	48
1.6.2. Método racional modificado.....	49
1.6.3. Hidrograma unitario	51
1.6.3.1. Hidrograma unitario triangular de SCS.....	51
CAPÍTULO II METODOLOGÍA	54
2.1. Materiales y equipos.....	54
2.1.1. Materiales y Equipos	54
2.2. Metodología.....	54
2.2.1. Actividades previas	54
2.2.2. Formulación y vinculación de algoritmos en MATLAB, para optimizar el tiempo de cálculo hidrológico de drenaje transversal en carreteras	58
2.2.2.1. Algoritmo para cálculo de parámetros de cuenca	60
2.2.2.2. Algoritmo para análisis estadísticos de datos hidrológicos	63
2.2.2.3 Algoritmo para calcular caudales máximos.....	89
2.2.3. Comparación de resultados del programa HYDRETC V1, con hojas de cálculo y softwares afines, para su validación.	95
2.2.3.1 Cálculo de parámetros de cuenca	95
2.2.3.2 Análisis estadísticos de datos hidrológicos	96
2.2.3.3 Cálculo de caudales máximos.....	97

2.2.4. Elaborar una interfaz gráfica funcional y conciso del programa HYDRETC V1 ..	98
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	100
3.1. Resultados de formulación y vinculación de algoritmos en MATLAB, para optimizar el tiempo de cálculo hidrológico de drenaje transversal en carreteras	100
3.1.1. Parámetros de cuenca	100
3.1.2. Análisis estadísticos de datos hidrológicos	103
3.1.3. Cálculo de caudales máximos	112
3.2. Comparación de resultados del programa HYDRETC V1 elaborado en MATLAB, con hojas de cálculo y softwares afines, para su validación.	114
3.2.1. Parámetros de cuenca	115
3.2.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos	117
3.2.3. Cálculo de caudales máximos	128
3.3. Interfaz gráfica de HYDRETC	131
3.3.1. Ventana de inicio	131
3.3.2. Ventana de datos generales	131
3.3.3. Ventana de datos de entrada	132
3.3.4. Parámetros de cuenca	135
3.3.5. Análisis estadístico de datos hidrológicos	137
3.3.6. Caudales máximos	144
3.3.7. Resumen	149
3.3.8. Ayuda	150
CONCLUSIONES.....	151
RECOMENDACIONES	152
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
ANEXOS	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Operadores aritméticos.....	8
Tabla 1.2: Operadores relacionales	9
Tabla 1.3: Operadores Lógicos.....	9
Tabla 1.4: Funciones en MATLAB	9
Tabla 1.5: Clasificación en relación de tamaño.....	14
Tabla 1.6: Forma de cuenca.....	20
Tabla 1.7: Números de Curva en función del uso del suelo y del grupo hidrológico del suelo para Condiciones Antecedentes de Humedad II ($I_a = 0.2S$).....	33
Tabla 1.8: Valores máximos de riesgo admisible de obras de drenaje.....	34
Tabla 1.9: Valores de periodo de retorno (T_r) de obras de drenaje.....	35
Tabla 1.10: Valores para coeficiente (K_n).....	38
Tabla 1.11: Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov	41
Tabla 1.12: coeficientes de duración	46
Tabla 1.13: Coeficientes de escorrentía método racional.....	49
Tabla 2.1: Características físicas de las microcuencas, coeficiente de escurrimiento (C), numero de curva (NC) y periodo de retorno (T_r).	56
Tabla 2.2: Precipitaciones máximas de 24 horas (P_{max}).....	57
Tabla 3.1: Parámetros geomorfológicos.....	100
Tabla 3.2: Tiempo de concentración	102
Tabla 3.3: Prueba de datos dudosos método de Water Resources Council.....	103
Tabla 3.4: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov	105
Tabla 3.5: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno	107
Tabla 3.6: Precipitaciones máximas de 24 horas seleccionada y corregida	108
Tabla 3.7: Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke).....	109
Tabla 3.8: Curvas I-D-F mayores a una hora (Coeficiente de duración)	110

Tabla 3.9: Caudales máximos método racional.....	112
Tabla 3.10: Caudales máximos método racional Modificado o Temez	113
Tabla 3.11: Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS	114
Tabla 3.12: Parámetros geomorfológicos (Resultados: HYDRETC V1).....	115
Tabla 3.13: Parámetros geomorfológicos (Resultados: Microsoft Excel)	115
Tabla 3.14: Tiempo de concentración (Resultados: HYDRETC V1)	116
Tabla 3.15: Tiempo de concentración (Resultados: Microsoft Excel).....	116
Tabla 3.16: Prueba de datos dudosos método de Water Resources Council.....	117
Tabla 3.17: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Normal)	118
Tabla 3.18: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogNormal).....	119
Tabla 3.19: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Gumbel).....	120
Tabla 3.20: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogGumbel)	121
Tabla 3.21: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno (Normal)	122
Tabla 3.22: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno (LogNormal).....	122
Tabla 3.23: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno (Gumbel).....	123
Tabla 3.24: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno (LogGumbel).	123
Tabla 3.25: Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke) (Resultados: HYDRETC V1)	124
Tabla 3.26: Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke) (Resultados: Microsoft Excel)	125
Tabla 3.27: Curvas I-D-F menores a una hora (Coeficientes de duración) (Resultados: HYDRETC V1).....	126
Tabla 3.28: Curvas I-D-F menores a una hora (Coeficientes de duración) (Resultados: Microsoft Excel)	127

Tabla 3.29: Caudales máximos método racional (Resultados: HYDRETC V1).....	128
Tabla 3.30: Caudales máximos método racional (Resultados: Microsoft Excel).....	128
Tabla 3.31: Caudales máximos método racional Modificado o Temez (Resultados: HYDRETC V1).....	129
Tabla 3.32: Caudales máximos método racional Modificado o Temez (Resultados: Microsoft Excel).....	129
Tabla 3.33: Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS (Resultados: HYDRETC V1).....	130
Tabla 3.34: Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS (Resultados: Microsoft Excel).....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Icono De MATLAB	7
Figura 1.2: de un algoritmo	10
Figura 1.3: Estructuras de drenaje transversal.....	13
Figura 1.4: cuenca hidrográfica	14
Figura 1.5: Clasificación En Relación De Tamaño	15
Figura 1.6: Clasificación en función a su elevación	16
Figura 1.7: Delimitación de una cuenca	17
Figura 1.8: Influencia de la forma de la cuenca en el Hidrograma	18
Figura 1.9: Delimitación de una cuenca	21
Figura 1.10: Diferentes hidrogramas para cada tipo de cuencas	22
Figura 1.11: Orden de Corrientes	25
Figura 1.12: El Ciclo Hidrológico	28
Figura 1.13: Hidrograma unitario triangular	31
Figura 1.14: Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia	45
Figura 1.15: Hidrograma Unitario Triangular del SCS	51
Figura 2.1: sistema de drenaje transversal en carreteras para el ejemplo de aplicación.....	55

Figura 3.1: Grafico de prueba de datos dudosos método de Water Resources Council.....	104
Figura 3.2: grafico de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov	106
Figura 3.3: grafico de precipitaciones máximas de 24 horas generadas	107
Figura 3.4: grafico de Curvas I-D-F menores a una hora con el método (Dick Peschke).....	109
Figura 3.5: Grafico de curvas I-D-F mayores a una hora con el método (Coeficiente de duración)	111
Figura 3.6: Ventana de inicio	131
Figura 3.7: Ventana de datos generales	131
Figura 3.8: Ventana de características físicas de microcuencas, C, NC y Tr.....	132
Figura 3.9: Ventana de precipitaciones máximas de 24 horas	134
Figura 3.10: Ventana de parámetros geomorfológicos.....	135
Figura 3.11: Ventana de tiempo de concentración	136
Figura 3.12: Ventana de prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council	138
Figura 3.13: Ventana de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov	139
Figura 3.14: Ventana de generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno.).....	140
Figura 3.15: Ventana de curvas I-D-F menores a una hora con el método de Dick Peschke	142
Figura 3.16: Ventana de curvas I-D-F mayores a una hora con el método de coeficiente de duración	143
Figura 3.17: Ventana de caudales máximos con el método racional (Qr).....	145
Figura 3.18: Ventana de caudales máximos con el método racional modificado o Temez (Qt)	146
Figura 3.19: Ventana de caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS (Qhut)	147
Figura 3.20: Ventana de resumen	149
Figura 3.21: Ventana de ayuda	150

RESUMEN

En este trabajo de investigación se desarrolló el programa HYDRETC V1, formulado en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras, que optimiza el tiempo de cálculo y proporciona resultados confiables. El desarrollo de este programa se realizó mediante la vinculación de algoritmos, comparación de resultados y elaboración de un interfaz gráfico de usuario. El programa se diseñó para realizar los siguientes procesos: Importar datos de características físicas de cuencas o microcuencas, coeficiente de escurrimiento (C), número de curva (CN), período de retorno (Tr) y precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax). calcular los parámetros geomorfológicos y tiempos de concentración con los datos de características físicas de cuencas o microcuencas. Realizar el análisis estadísticos de datos hidrológicos como: prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov mediante las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes períodos de retorno mediante las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, cálculo de la tormenta de diseño curvas I-D-F con los métodos de Dick Peschke y coeficiente de duración con los datos de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax). Cálculo de caudales máximos por tres métodos: racional, racional modificado o Temez e hidrograma unitario triangular del SCS, y por último reportar un informe de resultados. Al realizar un ejemplo de aplicación de un sistema de drenaje transversal en carreteras ubicado entre las comunidades de Manitea Baja y Unión Rosales del distrito de Kimbiri-la Convención – Cusco, el cual está conformado por 9 microcuencas, se observó la optimización de tiempo de cálculo, confiabilidad de los resultados y una interfaz gráfica funcional y conciso de fácil manejo, Por ende, este trabajo de investigación contribuirá con los consultores, estudiantes y público en general, interesados elaborar cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras, en menor tiempo y con resultados confiables.

PALABRAS CLAVES

Programación en MATLAB, áreas de aporte, precipitación, drenaje transversal en carreteras.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son medios fundamentales para el desarrollo y crecimiento de un país, por ser un medio de conectividad que impulsa “las actividades productivas, comerciales y atender las necesidades sociales”, pero cuenta con una amenaza principal que son los fenómenos hidrológicos frecuentes en nuestro país, para garantizar su conservación se debe realizar un adecuado y confiable estudio hidrológico de drenaje transversal en carreteras.

“Las obras de drenaje transversal (ODT) son elementos esenciales de cualquier infraestructura de transporte. Si bien la entidad de dichas obras suscita que su nivel de relevancia (en cuanto a labores de mantenimiento ordinario) a menudo se considere mucho menor que el de otras estructuras de mayor entidad, como pontones y puentes, se ha de tener en cuenta que un eventual fallo en este tipo de elementos provoca igualmente el fallo del servicio global en la infraestructura. Actualmente existe a nivel nacional una regulación técnica relativa al diseño de este tipo de obras”. (Campos, Diaz, Galán, & González, 2018)

“Las estructuras del drenaje transversal son fundamentales para el control y manejo efectivo del agua en una vía. El principal objetivo del drenaje vial es reducir al máximo la cantidad de agua en la vía, de manera de dar salida rápida al agua que llega a la vía. Por lo cual proveer de un buen sistema de drenaje es uno de los factores más importantes en un proyecto vial. Por lo tanto, la recolección, encauzamiento y disposición de las aguas pluviales superficiales es esencial para garantizar la estabilidad e integridad de una vía”. (Castillo, 2017).

El estudio hidrológico de drenaje transversal en carreteras consiste en determinar caudales máximos de cada uno de los sistemas de drenaje, con la finalidad de plantear estructuras hidráulicas con dimensiones adecuadas para evacuar las aguas producto de precipitaciones, para realizar este estudio se requiere datos de características físicas de cuencas o microcuencas como: posición, ubicación, área, perímetro, longitud de cauce, cota mayor de cauce, cota mayor de cuenca y cota de salida, con la finalidad de determinar los parámetros geomorfológicos como: índice de Gravelius, rectángulo equivalente, factor forma, pendiente, relación de elongación, relación de circularidad y los tiempos de concentración. Además, se requiere datos de precipitaciones máximas de 24 horas para realizar el análisis estadísticos de datos hidrológicos como: prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov con las distribuciones Normal, LogNormal,

Gumbel y LogGumbel, generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y Log Gumbel, cálculo de la tormenta de diseño curvas I-D-F con los método de Dick Peschke y Coeficiente de duración, con los resultados de los parámetros geomorfológicos, tiempos de concentración, análisis estadísticos de datos hidrológicos, los datos de características físicas como el área, coeficiente de escurrimiento (C), numero de curva (NC) y periodo de retorno (Tr), se determina los caudales máximos por tres métodos: racional, racional modificado o Temez e Hidrograma Unitario Triangular del SCS para cada microcuenca del sistema de drenaje.

Los sistemas de drenaje transversal de una carretera están conformados por múltiples microcuencas, con diferentes características físicas por lo que requiere cálculos independientes, el cual ocasiona que los trabajos sean laboriosos y que demanden mayor tiempo.

El análisis estadísticos de datos hidrológicos consta de varios procesos como, prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno, cálculo y selección de tormenta de diseño I-D-F. los cuales se procesan en hojas de cálculo que son manipulados constantemente de acuerdo a criterio de cada uno y según el número de datos, generando resultados poco confiables y variables en algunos casos.

A causa de los problemas mencionadas se desarrolló el programa HYDRETC V1 en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras, que optimiza el tiempo de cálculo y proporciona resultados confiables.

El desarrollo del programa HYDRETC V1 se justifica técnicamente porque está desarrollado previa revisión bibliográfica detallada, basados en conceptos básicos de hidrología de drenaje transversal en carreteras y del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC); socialmente porque contribuirá con los consultores, estudiantes y público en general, interesados en los estudios hidrológicos de drenaje transversal en carreteras y, económicamente porque optimizará el tiempo de cálculo proporcionando resultados confiables, para lo cual, se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo principal

Formular un programa en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras, que optimice el tiempo de cálculo y proporcione resultados confiables.

Objetivos específicos

- Formular y vincular algoritmos en MATLAB, que optimice el tiempo de cálculo hidrológico de drenaje transversal en carreteras.
- Comparar los resultados del programa elaborado en MATLAB, con hojas de cálculo y softwares afines, para su validación.
- Elaborar una interfaz gráfica funcional y conciso en MATLAB, para facilitar su manejo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Villón (2012) en su trabajo titulado: "Hidroesta, software para cálculos hidrológicos indica que su trabajo de investigación se orienta a la elaboración de una herramienta computacional bajo el título Hidroesta, software para cálculos hidrológicos, utilizando Visual Basic, el cual pretende ser una aplicación que permita facilitar y simplificar los cálculos laboriosos que se deben realizar en los estudios hidrológicos. El software permite el cálculo de los parámetros estadísticos, cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple, así como regresión polinomial, evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones, calcular a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia, realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviogramas, los cálculos de aforos realizados con correntómetros o molinetes, el cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos y estadísticos, cálculos de la evapotranspiración y cálculo del balance hídrico. En la investigación se probaron diferentes métodos numéricos para la solución de las ecuaciones, seleccionándose el más adecuado para cada situación. El producto del trabajo proporciona al ingeniero civil, agrícola, agrónomo, hidrólogos y otros especialistas que trabajen en este campo, una herramienta que permite realizar cálculos, simulaciones rápidas, y determinar los caudales o precipitaciones de diseño”.

Chúa (2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, presentado ante la Universidad Nacional Agraria la Molina, titulado "Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia esorrentía", menciona que “los sistemas informáticos en la actualidad se han convertido en herramientas muy importantes para realizar cálculo de una forma más rápida y precisa. Teniendo en cuenta esta definición desarrollo un sistema informático para cálculos hidrológicos denominado HydroCal. donde el diseño de la interfaz gráficas y codificación de los algoritmos se realizó en el software de programación MATLAB R15; el cual presenta un entorno visual denominado GUIDE; el desarrollo de la interface gráfica, las pruebas de validación y calibración realizó con datos conocidos, adicionalmente utilizó información recopilada de análisis de la cuenca del río

Cañete, de la ciudad de Moyobamba de la microcuenca Chuiruco; comprobando que el sistema informáticos desarrollado es útil para el cálculo hidrológico”.

Vílchez (2015) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, presentado ante la ante la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, titulado "modelación hidrodinámica de sistemas de drenaje pluvial con el método de elementos finitos y MATLAB", Presenta un modelo matemático basado en el Método de Elementos Finitos (FEM) para la simulación hidráulica de un sistema de drenaje pluvial. Donde desarrollo el aplicativo computacional SMAP v2015. El código numérico se desarrolló en MATLAB y hace una comparación con los resultados obtenidos con otros programas disponibles en el mercado y desarrolla del proyecto "Instalación del sistema de drenaje pluvial en la ciudad de Kimbiri, distrito de Kimbiri, provincia de la Convención - Cusco".

Maza (2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, presentado ante la ante la Universidad Técnica de Machala-Ecuador, titulado "Evaluación del dimensionamiento de los drenajes transversales de la vía Santa Rosa Huaquillas, mediante la complementación de herramientas computacionales" evaluó los drenajes transversales de la vía Santa Rosa a Huaquillas, “tomando en cuenta dos factores importantes, análisis hidrológico y análisis hidráulico, el procedimiento se realizó en dos fases; trabajo en campo y trabajo en oficina, en la primera fase se tomó los datos en campo y la segunda fase se procesó los resultados en oficina, mediante la utilización de herramientas computacionales, bajo una rigurosa investigación de artículos científicos y estudios de las instituciones públicas del Ecuador NEVI-12-MTOP e INAMHI. donde establece que las dimensiones de los drenajes transversales construidos en la vía, están acorde al resultado de diseño”.

1.2. MATLAB

1.2.1. Definición

Cubillos (2013) menciona que “MATLAB es la abreviación de “MATrix LABoratory”. y que es un programa capaz de efectuar cálculos numéricos con vectores y matrices, números escalares, tanto reales como complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de los potenciales más atractivos de este programa es realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones”.

También Giner (2008), define que “MATLAB es un lenguaje de alto rendimiento para computación en ciencias e ingeniería. Integra cálculo, visualización y programación en un entorno amigable donde los problemas y soluciones se expresan en notación matemática habitual”.

Por otro lado Pérez (2002), define que “MATLAB es un entorno de computación técnica que posibilita la ejecución del cálculo numérico y simbólico de forma rápida y precisa, acompañado de características gráficas y de visualización avanzadas aptas para el trabajo científico y la ingeniería. MATLAB es un entorno interactivo para el análisis y el modelado que implementa más de 500 funciones para el trabajo en distintos campos de la ciencia. Por otra parte, MATLAB presenta un lenguaje de programación de muy alto nivel basado en vectores, arrays y matrices. Además, el entorno básico de MATLAB se complementa con una amplia colección de toolboxes que contienen funciones específicas para determinadas aplicaciones en diferentes ramas de las ciencias y la ingeniería. La arquitectura de MATLAB es abierta y ampliamente extensible, permitiendo la relación con Excel, C, Fortran y otras aplicaciones externas muy utilizadas e importantes. Entre otras cosas, el código escrito en lenguaje de MATLAB puede ser traducido a C de forma inmediata”, y está representada por un icono que se muestra en la siguiente figura.

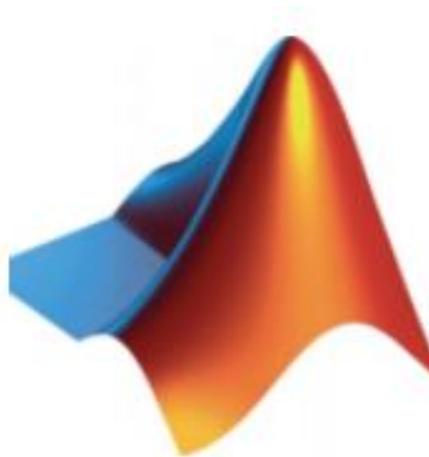


Figura 1.1: Icono De MATLAB

FUENTE: Giner (2008)

1.2.2. Características de MATLAB

- “Es un lenguaje sencillo pero potente y rápido. Los ficheros son de texto, por lo que ocupan poca memoria.
- Muchas de las funciones matemáticas y de aplicación (análisis estadístico, optimización, diseño en ingeniería) están predefinidas y agrupadas en librerías comerciales (toolboxes). El usuario puede acceder a la mayor parte de estas funciones para modificarlas y/o crear las suyas propias.
- Presenta una gran capacidad para generar gráficos, en dos y tres dimensiones, y permite incorporar efectos y animaciones.
- Permite el desarrollo de aplicaciones complejas con ayuda del editor de ventanas, menús y controles de la utilidad GUI (Graphics User Interface).
- Puede intercambiar datos con otros lenguajes y entornos”.

1.2.3. Operadores aritméticos de MATLAB

Hernández , Medina , & Seck Tuoh (2012) menciona que MATLAB “es un lenguaje que tiene 5 operadores aritméticos para la suma, resta, producto y división, la para la división podemos usar dos operadores dependiendo del sentido de ejecución. Aunque no es un operador aritmético, incluimos en esta tabla el operador potencia”.

Tabla 1.1: Operadores aritméticos

Operador	Descripción
+	Suma
-	Resta
*	Producto
/	División a la derecha
\	División a la izquierda
^	Potencia

FUENTE: Hernández , Medina , & Seck Tuoh (2012)

1.2.4. Los operadores relacionales y lógicos

Hernández , Medina , & Seck Tuoh, (2012) menciona que “se usan para controlar el flujo de ejecución en los programas, para detectar cuando ocurre cierto suceso o para ejecutar n veces un bloque de código, etc. En Matlab R podemos referir seis tipos de operadores relacionales y tres tipos de operadores lógicos”.

Tabla 1.2: Operadores relacionales

Operador	Comando	Descripción
<	lt	Menor que
<=	le	Menor o igual que
>	gt	Mayor que
>=	ge	Mayor o igual que
==	eq	Igual que
~=, ~=	ne	Diferente de

FUENTE: Hernández, Medina, & Seck Tuoh (2012)

Tabla 1.3: Operadores Lógicos

Operador	Comando	Descripción
&	and	(E1) y (E2)
	or	(E1) o (E2)
~	not	Negación (E1)

FUENTE: Hernández, Medina, & Seck Tuoh (2012)

1.2.5. Funciones en MATLAB

Una función es una colección de operaciones cuyo objetivo es realizar una tarea particular. En general una función puede recibir uno o varios valores de entrada

Tabla 1.4: Funciones en MATLAB

Funciones	Utilización
exp(x)	Exponencial de x
log(x)	Logaritmo natural
log10	Logaritmo en base 10
sin(x)	Seno de x
cos(x)	Coseno de x
tan(x)	Tangente de x

FUENTE: Hernández, Medina, & Seck Tuoh (2012)

1.2.6. Algoritmos

Rodríguez (2014) define que “un algoritmo es una descripción ordenada de las instrucciones que deben realizarse para resolver un problema en un tiempo finito”.

“Para crear un algoritmo es necesario conocer en forma detallada el problema, las variables, los datos que se necesitan, los procesos involucrados, las restricciones, y los resultados esperados”.

“La descripción del algoritmo debe orientarse a la instrumentación computacional final. pero,

cuando los problemas son simples, puede omitirse la elaboración detallada del algoritmo e ir directamente a la codificación en el lenguaje computacional”.

“Es muy importante desarrollar el pensamiento algorítmico paulatinamente con la ayuda de ejemplos y con la práctica. El objetivo final es estructurar una metodología para facilitar la resolución de problemas, investigando sus componentes y sus requerimientos”.

1.2.6.1. Estructura de un algoritmo

“Un algoritmo es un objeto que debe comunicarse con el entorno. Por lo tanto, debe incluir facilidades para el ingreso de datos y la salida de resultados”.

“Dentro de un algoritmo se describe un procedimiento para recibir datos, realizar una transformación y entregar resultados”.

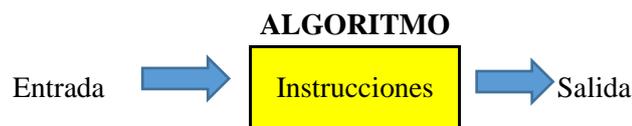


Figura 1.2: de un algoritmo

FUENTE: Rodríguez (2014)

1.2.6.2. Lenguajes para escribir algoritmos

“Para escribir algoritmos se pueden usar diferente notación: lenguaje natural, gráficos, lenguajes simbólicos, etc. Para que una notación sea útil debe poseer algunas características que permitan producir algoritmos fáciles de construir, entender y aplicar”:

- “Las instrucciones deben ser simples para facilitar su uso.
- Las instrucciones deben ser claras y precisas para evitar ambigüedades.
- Debe incluir suficientes instrucciones para describir la solución de problemas simples y complejos.
- Preferentemente, las instrucciones deben tener orientación computacional”.

Los algoritmos deben ser reproducibles, es decir que al ejecutarse deben proporcionar los mismos resultados si se utilizan los mismos datos.

1.2.6.3. Definiciones

a) Proceso

“Conjunto de acciones realizadas al ejecutar las instrucciones descritas en un algoritmo”.

b) Estado

“Situación de un proceso en cada etapa de su realización, desde su inicio hasta su finalización. En cada etapa, las variables pueden modificarse”.

c) Variables

“Símbolos con los que se representan los valores que se producen en el proceso”.

Componentes de una variable

Nombre: “identificación de cada variable”

Dominio: “tipo de datos asociado a una variable”

Contenido: “valor asignado a una variable”

Celda: “dispositivo que almacena el valor asignado a una variable”

1.2.7. Aplicaciones

Pino (2019) menciona que MATLAB, “es una herramienta muy útil para la programación de cálculos para procesos hidráulicos e hidrológicos, Una de las principales ventajas que presenta este programa es su potencia y versatilidad en cuanto al manejo de archivos externos, es decir que se pueden importar archivos de Excel (*.xls) o archivos tipo texto (*.txt); por tanto, facilita el manejo de archivos de datos y su procesamiento utilizando técnicas estadísticas desarrolladas y codificadas”.

1.3. Drenaje transversal de carreteras

MTC (2008) menciona que “el drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia.

El elemento básico del drenaje transversal se denomina alcantarilla, considerada como una estructura menor, su densidad a lo largo de la carretera resulta importante e incide en los costos, por ello, se debe dar especial atención a su diseño.

Las otras estructuras que forman parte del drenaje transversal es el badén y el puente, siendo este último de gran importancia, cuyo estudio hidrológico e hidráulico que permite concebir su diseño, tiene características particulares”.

Asimismo Castillo (2017) menciona que el drenaje transversal en carreteras “permite el paso del agua a través de una estructura transversal a la vía; Por lo general, el cruce se realiza de manera perpendicular y transportan el aporte de la cuenca que se encuentra aguas arriba de la vía en dirección aguas abajo. El drenaje transversal de la carretera se consigue mediante alcantarillas y badenes cuya función es proporcionar un medio para que el agua superficial que escurre por cauces naturales o artificiales en forma permanente o eventual, pueda cruzar bajo la plataforma de la carretera sin causar daños a esta, riesgos de tráfico o a la propiedad adyacente”.

Por otro lado Marín & Pérez (2014) señala que “la presencia de una carretera interrumpe la continuidad de la red de drenaje natural de laderas, vaguadas, arroyo, ríos, por lo que debe procurarse un sistema que restituya dicha continuidad, permitiendo su paso bajo la carretera en condiciones tales que perturben lo menos posible la circulación del agua a través de la citada red”.

1.3.1. Premisas para el estudio

a) Características topográficas

“Para el caso de obras de cruce menores (alcantarillas), el levantamiento topográfico realizado para la carretera, deberá cubrir aquellos sectores donde se emplazarán dichas obras, de tal manera que permita definir el perfil longitudinal del cauce tanto aguas arriba y aguas abajo de la sección de cruce. En el caso de obras de cruce mayores como puentes, la amplitud que deberá abarcar el levantamiento topográfico”.

b) Estudio de cuencas hidrográficas

“Se refiere a la identificación de las cuencas hidrográficas que interceptan el alineamiento de la carretera, con el objetivo de establecer los caudales de diseño y efectos de las crecidas. Se deberá indicar la superficie, pendiente y longitud del cauce principal, forma, relieve, tipo de cobertura vegetal, calidad y uso de suelos, asimismo; los cambios que han sido realizados por el hombre, tales como embalses u otras obras de cruce que pueden alterar significativamente las características del flujo”.

c) Características del cauce

“Se refiere a las características del lecho, tales como forma, tipo de suelo, tipo de cobertura vegetal, tipo de material de arrastre, sólidos flotantes, fenómenos de geodinámica externa y otros factores que inciden en el tamaño y durabilidad de la obra de cruce”.

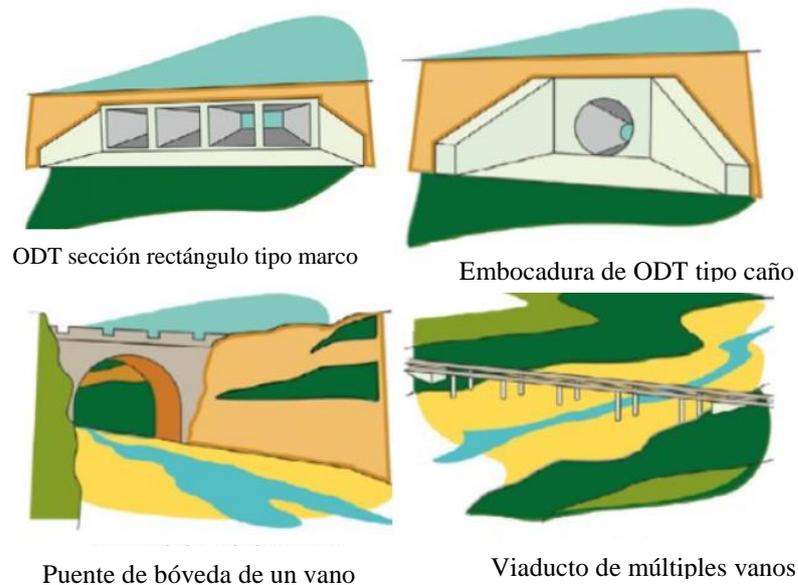


Figura 1.3: Estructuras de drenaje transversal

FUENTE: NORMA 5.2-IC (2016)

1.4. Cuenca hidrográfica y geomorfología

1.4.1. Cuenca hidrográfica

Cahuana & Yugar (2009) define que es un “espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materias sólidas transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura”.

Tambien Pérez & Rodríguez (2009) “define como el área que contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios”.

Asimismo Aparicio (1992) define que una “cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida”.

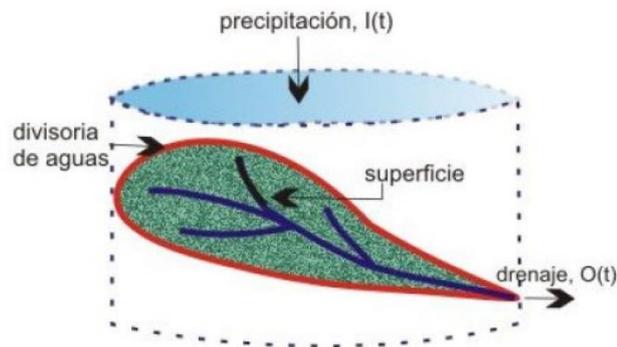


Figura 1.4: cuenca hidrográfica

FUENTE: Chow, Maidment, & Mays, (1994)

1.4.2. Clasificación de cuenca

1.4.2.1. En relación al tamaño

Gamez (2010) clasifica de acuerdo a la superficie del área drenada que cubre el perímetro de la cuenca y generalmente se indica en km^2 (kilómetros cuadrados) o bien en (hectáreas) cuando las cuencas son pequeñas.

Tabla 1.5: Clasificación en relación de tamaño

Rangos de Áreas (km^2)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia -Pequeña
500 a 2500	Intermedia - Grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

FUENTE: Gamez (2010)

1.4.2.2. En función a la salida

Cahuana & Yugar (2009) menciona que, “desde el punto de vista de la salida de una cuenca, existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas”.

a) Cuencas endorreicas

“El punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago”.

b) Cuencas exorreicas

“En las cuencas exorreicas el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca, pudiendo ser en otra corriente de agua o en el mar”.

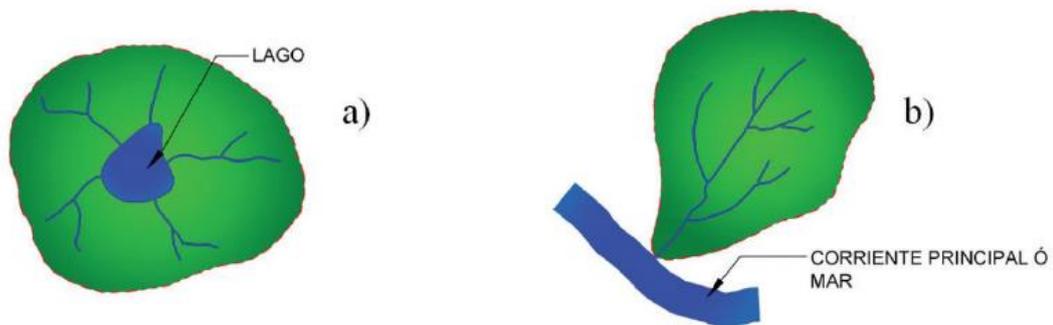


Figura 1.5: Clasificación En Relación De Tamaño

FUENTE: Cahuana & Yugar (2009)

1.4.2.3. En función a la elevación

“Otra forma de clasificarlas, de clara aplicación en las cuencas andinas, basada en la elevación relativa de sus partes, se clasifica en: cuencas, alta, media y baja”.

a) Cuenca alta

“Llamado como cuenca cabecera o de recepción de la cuenca; por su posición, capta y almacena en los nevados y glaciares de sus cumbres, y en las lagunas y represamientos de las altiplanicies, la mayor parte de los aportes de la precipitación; además, tiene una cobertura vegetal típica de pastos o bosques, y una menor presión demográfica”.

b) Cuenca media

“De mayor pendiente relativa, con un caudal caracterizado por torrentes turbulentos, también se le denomina zona de transporte de sedimentos o de escurrimiento”.

c) Cuenca baja

“Cuenca de menor pendiente relativa, con un caudal de flujo continuo, cauce definido y amplia planicie de inundación, suele llamarse como de deyección o zona de depósito”.

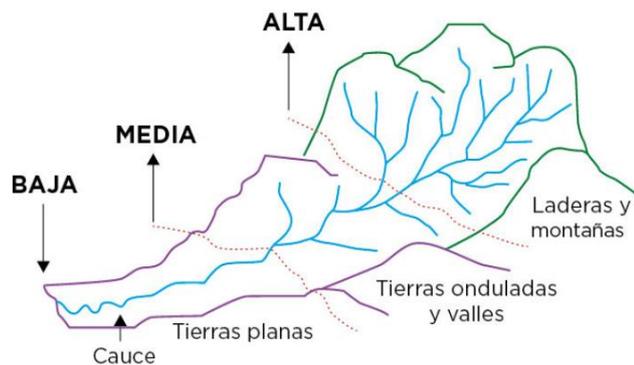


Figura 1.6: Clasificación en función a su elevación

FUENTE: Cahuana & Yugar (2009)

1.4.3. Delimitación de una cuenca

Villón (2002) define que la “delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarum (parteaguas), la cual es una línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que, en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca. El parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación de aforo”.



Figura 1.7: Delimitación de una cuenca

FUENTE: Villon (2002)

1.4.4. Características físicas de las cuencas

Cahuana & Yugar (2009) menciona que, “el funcionamiento de la cuenca se asemeja al de un colector, que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación presenta pérdidas de agua, situación que depende de las condiciones climatológicas y de las características físicas de la cuenca. Cuencas vecinas sometidas a las mismas condiciones climáticas, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos, situación debida principalmente a las características físicas de las cuencas”.

1.4.4.1. Área de la cuenca hidrográfica

Villón (2002) indica “que se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca”.

1.4.4.2. Perímetro de una Cuenca

Villón (2002) se refiere al “borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca”.

1.4.4.3. Longitud del cauce

Lux (2012) “Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca”.

1.4.4.4. Longitud del cauce

Es la cota topográfica más alta del río, esta expresada en metros sobre el nivel del mar.

1.4.4.5. Cota más alto de la cuenca

Es la cota topográfica más alta de la cuenca, esta expresada en metros sobre el nivel del mar.

1.4.4.6. Cota de salida

Es la cota topográfica del punto de desagüe aguas debajo de la cuenca, esta expresada en metros sobre el nivel del mar.

1.4.4.7. Forma de la cuenca

Cahuana & Yugar (2009) menciona que “la forma de la cuenca afecta en las características de descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo.

En general, los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, aunque tengan la misma área”.

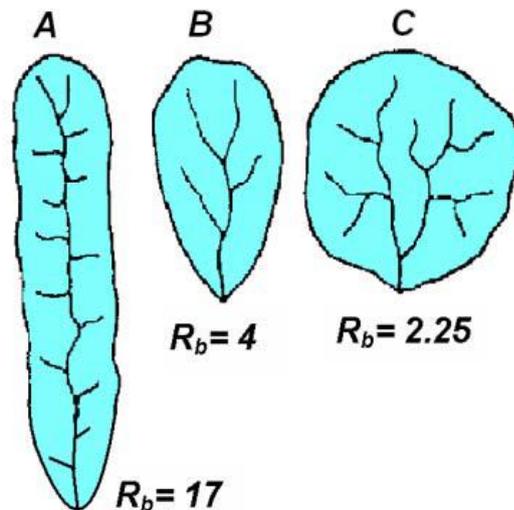


Figura 1.8: Influencia de la forma de la cuenca en el Hidrograma

FUENTE: Cahuana & Yugar (2009)

1.4.5. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Gamez (2010) define que “los parámetros morfológicos intentan reflejar las características de la cuenca en cuanto a su forma y la influencia en la respuesta a las precipitaciones. Se deduce a partir de la cartografía y se incluyen en los proyectos hidrológicos forestales”.

También Fattorelli & Fernández (2011), afirma “que los parámetros geomorfológicos básicos para establecer una afinidad hidrológica entre cuencas comparables son: área, perímetro, altura máxima, mínima y desnivel, índice de compacidad, radio de elongación, curva hipsométrica, curva de frecuencias altimétricas, altitud media, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, pendiente ponderada del cauce principal, rectángulo equivalente, índice de pendiente, pendiente, pendiente media total o pendiente neta total, coeficiente de masividad o de Martone, coeficiente orográfico. Dichos parámetros geomorfológicos pueden ser calculados fácilmente haciendo uso de sistemas de información geográfica (SIG) integrados a modelos hidrológicos”.

Por otro lado, Cahuana & Yugar (2009) definen que “la geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que, a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas”.

1.4.5.1. Parámetros de forma de la cuenca

a) Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

Gamez (2010) menciona que “esta característica tiene fundamental importancia en la cantidad de escorrentía para una misma área y una misma intensidad de lluvia, dado que una cuenca pequeña y redondeada, tenderá a concentrar con mayor rapidez sus escurrimientos, en contra de una alargada que tardará más tiempo en llevarlos a su punto de salida”.

“Las cuencas pequeñas y redondas suelen ocasionar inundaciones, sobre todo si presentan fuertes pendientes que les imprima gran velocidad a las aguas”.

“El caudal de salida depende directamente de la forma de la hoya, la cual puede expresarse por un factor "K" adimensional, llamado índice de compacidad o coeficiente de Gravelius y que se expresa como”:

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad \text{Ecuación 01}$$

Donde:

K: "Coeficiente de compacidad o de Gravelius, adimensional"

P: "Perímetro de la cuenca, en kilómetros"

A: "Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados"

"Este coeficiente será mayor o igual a 1, de manera que, entre más próximo a la unidad, la forma de la cuenca se aproximará más a la de un círculo. Es decir, si el índice de compacidad presenta valores mayores que la unidad, la cuenca será alargada y tendrá forma circular a medida que el índice de compacidad se aproxime a la unidad".

Tabla 1.6: Forma de cuenca

Valores de "K"	Tipos o clases de formas
de 1.00 a 1.25	de casi redonda a oval redonda
de 1.26 a 1.50	de oval redonda a oval oblonga
de 1.51 a 1.75	de oval oblonga a rectangular oblonga

FUENTE: Gamez, (2010)

b) Rectángulo equivalente

Villón (2002) define que "el rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca de su forma heterogenea. con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (y por lo tanto el mismo índice de compacidad o índice de Gravelious), igual distribución de alturas (y por lo tanto igual curva hipsométrica), e igual distribución de terreno, en cuanto a sus condiciones de cobertura. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curva de nivel".

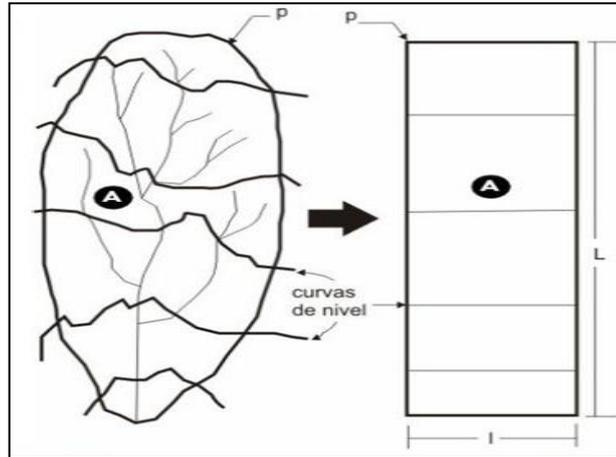


Figura 1.9: Delimitación de una cuenca

FUENTE: Villon (2002)

$$L = \frac{K_c \sqrt{\pi A}}{2} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4}{\pi K^2}} \right] \quad \text{Ecuación 02}$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{\pi A}}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4}{\pi K^2}} \right] \quad \text{Ecuación 03}$$

Dónde:

L: “Lado mayor del Rectángulo”

l: “Lado menor del Rectángulo”

Kc: “Coeficiente de Compacidad”

A: “Área de la Cuenca”

c) Factor forma

Mejia (2006) indica que “el factor de forma es la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca (L) se mide siguiendo el curso del agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la cuenca. El ancho promedio se obtiene dividiendo el área de la cuenca por la longitud de la cuenca”.

$$F_L = \frac{A_m}{L} = \frac{\frac{A}{L}}{L} = \frac{A}{L^2} \quad \text{Ecuación 04}$$

Donde:

Fl: Factor de forma

L: Longitud axial de la cuenca

A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados

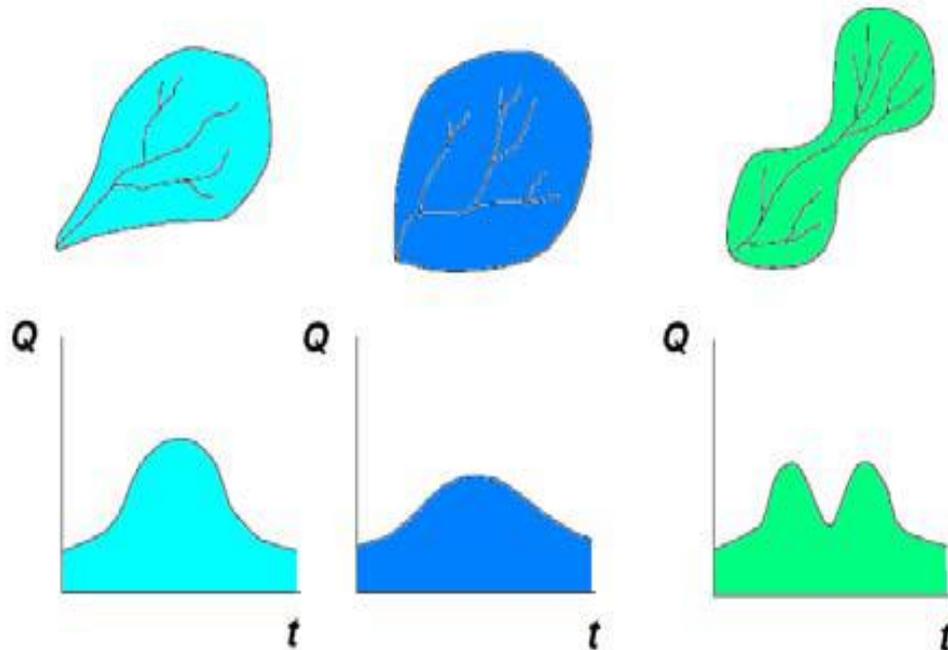


Figura 1.10: Diferentes hidrogramas para cada tipo de cuencas

FUENTE: Cahuana (2009)

d) Relación de elongación (R_e)

Cahuana & Yugar, (2009) menciona que es “la relación entre el diámetro de un círculo (D) de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (L_c)”.

$$R_e = \frac{D}{L_c} \quad \text{Ecuación 05}$$

“Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) queda”

$$R_e = 1.11284 * \frac{\sqrt{A}}{L_c} \quad \text{Ecuación 06}$$

“Si R_e varía entre 0.60 y 1.00 cuenca con amplia variedad de climas y geologías. Además, está fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde R_e que varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno”.

e) Relación de circularidad (R_{ci})

Cahuana & Yugar (2009) define que la “relación de circularidad, (R_{ci}), denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca”.

$$R_{CI} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad \text{Ecuación 07}$$

Donde

A: Área de la Cuenca en km^2 ;

P: Perímetro de la cuenca en Km. Cuando

Si $R_{ci}=1$, la cuenca es circular y si $R_{ci}=0.785$, la cuenca es cuadrada.

1.4.5.2. Parámetros de relieve

a) Pendiente de la cuenca

Villón (2002) define que la “pendiente de una cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas, y existen diversos criterios para evaluar la pendiente de una cuenca”.

a.1 Criterio del rectángulo equivalente

“Con este criterio, para hallar la pendiente de la cuenca, se toma la pendiente media del rectángulo equivalente, es decir”:

“Con este criterio, para hallar la pendiente de la cuenca, se toma la pendiente media del rectángulo equivalente, es decir”:

$$S = \frac{H}{L}$$

Ecuación 08

Donde

S: Pendiente de la cuenca

H: Desnivel total (cota en la parte más alta – cota en la estación de aforo), en km.

L: Lado mayor del rectángulo equivalente, en km

1.4.5.3. Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca

Cahuana & Yugar (2009) define que “la red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca”.

Mejia (2006) también menciona que “el sistema de drenaje de una cuenca está constituido por el cauce principal y sus tributarios; el estudio de sus ramificaciones y el desarrollo del sistema es importante, pues indica la mayor o la menor velocidad con que el agua deja la cuenca hidrográfica”.

a) Tipos de corrientes

Mejia (2006) indica que “una manera comúnmente usada para clasificar los cursos de agua es tomar como base la permanencia del flujo con lo que se determina tres tipos”:

Perennes. “Contienen agua durante todo el tiempo, la napa freática mantiene una alimentación continua y no desciende nunca por debajo del nivel de agua en el cauce, aún en épocas de sequía muy severas”.

Intermitentes. “Escurren durante las estaciones lluviosas y secan durante el período de estiaje. Durante las estaciones lluviosas, transportan la escorrentía superficial y el agua subterránea, dado que el nivel freático se mantiene por encima del nivel del lecho del cauce, lo que no sucede en la época de estiaje, cuando el nivel freático se encuentra por debajo del nivel del lecho del río”.

Efímeros. “Existen apenas durante o inmediatamente después de los períodos de precipitación y solo transportan escorrentía superficial. La napa freática se encuentra siempre en un nivel

inferior al del lecho fluvial, no existiendo por lo tanto la posibilidad de flujo subterráneo hacia el cauce”.

b) Orden de corrientes

Mejía (2006) indica que “el orden de los ríos es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. Utilizando el mapa de la cuenca bien detallado en el cual estén incluidos todos los canales perennes, intermitentes o efímeros y siguiendo el criterio introducido por Horton”.

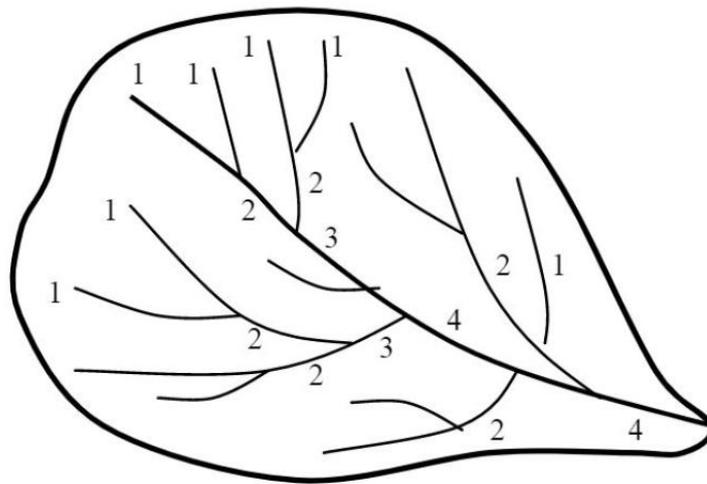


Figura 1.11: Orden de Corrientes

FUENTE: Mejía (2012)

c) Densidad de drenaje

Mejía (2006) menciona que “una buena indicación del grado de desarrollo de un sistema de drenaje está dada por el índice llamado densidad de drenaje (D_d). Este índice está expresado por la relación entre la longitud total, (L_t), de los cursos de agua (sean estas efímeras, intermitentes o perennes) de una cuenca y el área total (A)”.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad \text{Ecuación 09}$$

Donde:

D_d : Densidad de drenaje, (km/km^2).

L_t : Longitud total de los ríos, (km).

A : Área de la cuenca, (km^2).

“La densidad de drenaje varía inversamente con la longitud de las corrientes y, por lo tanto, da una indicación de la eficiencia de drenaje de la cuenca. A pesar de la existencia de poca información sobre densidad de drenaje, se puede afirmar que este índice varía de 0,5 km/km², para cuencas con drenaje pobre y de 3,5 a más, para cuencas bien drenadas”.

1.4.6. Tiempo de concentración

Pérez & Rodríguez (2009) define como el período de tiempo necesario para que el escurrimiento de una tormenta fluya desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje a la salida de la misma.

NORMA OS.060 (2021) también menciona que en ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos.

Existen diferentes métodos para calcular el tiempo de concentración.

a) Método de Kirpich

$$T_C = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

L: Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m.

S: Pendiente promedio de la cuenca, m/m.

b) Método Temez

$$T_c = 0.30 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

L: Longitud del cauce mayor (km)

S: Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

1.5. Parámetros hidrológicos

1.5.1. Hidrología

Perez (2015) define como “la ciencia natural que estudia el agua en la tierra, su distribución, propiedades físicas y químicas, sus movimientos y transformaciones; así como su relación con el medio ambiente y con los seres vivos”.

Villón (2002) define que “es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre. La hidrología proporciona al ingeniero métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño y la operación de las estructuras hidráulicas”.

1.5.2. El ciclo hidrológico

Cahuana & Yugar (2009) define que “el ciclo hidrológico es un fenómeno global de circulación del agua entre la superficie terrestre y la atmósfera, provocado fundamentalmente por la energía solar y la energía gravitacional. El ciclo hidrológico es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)”.

También Gamez (2010) menciona que “es la interminable circulación que siguen las partículas de agua en cualquiera de sus tres estados físicos, cuya circulación se efectúa en forma natural, sufriendo transformaciones físicas”.

Asimismo Chereque (1989) “Se denomina ciclo hidrológico el conjunto de cambios que experimenta el agua en la Naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc)”.

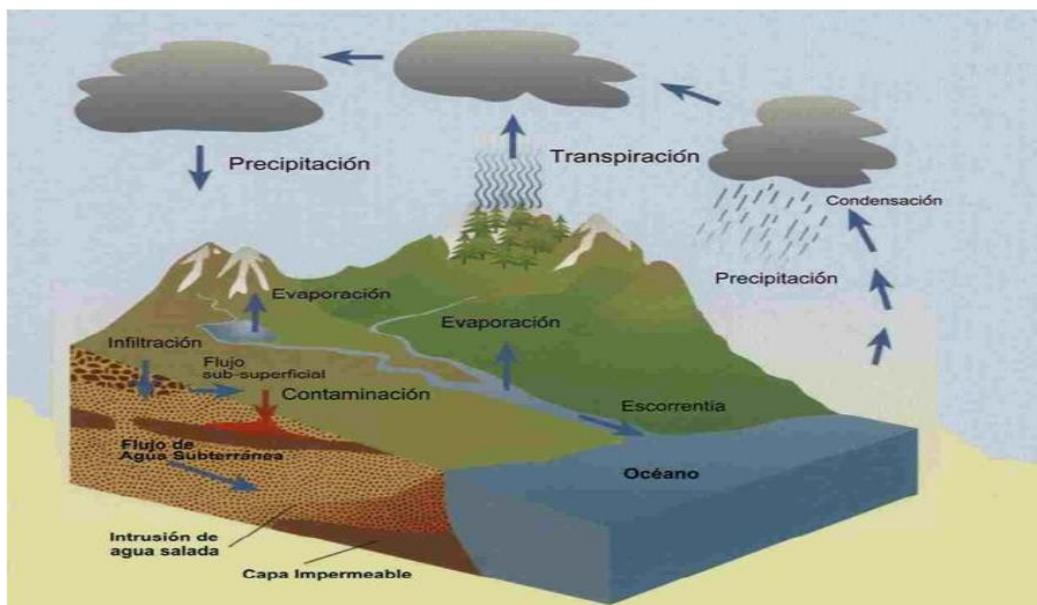


Figura 1.12: El Ciclo Hidrológico

FUENTE: Cahuana (2009)

1.5.3. Precipitación

Pérez & Rodríguez (2009) define que “es un fenómeno físico que consiste en la transferencia de volúmenes de agua, en sus diferentes formas (lluvia, nieve, granizo, etc.) de la atmósfera a la superficie terrestre”.

También Monsalve (1999) refiere a todas las formas de humedad emanadas en la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre tales como, granizo, rocío, neblina, nieve o helada.

Asimismo Gamez (2010) menciona “que la precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico y es responsable por depositar agua fresca en el planeta. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) se forman, que caen a la Tierra por gravedad. Es posible inseminar nubes para inducir la precipitación rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, generando las gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación”.

1.5.3.1. Estaciones meteorológicas

“Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, como Precipitación, Temperatura y Humedad del aire, Presión Barométrica,

Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura y Humedad del Suelo, Radiación Solar, Medición de horas Luz, entre otros” (Definiciones y Explicaciones, s/n).

“Las Estaciones meteorológicas, se clasifican según las variables meteorológicas obtenidas en”:

La estación Tipo A

“registra precipitación, temperatura, humedad relativa, presión, viento, radiación y horas de sol, evaporación y temperatura del suelo”.

La estación Tipo B

“registra precipitación, temperaturas extremas y humedad relativa”.

La estación Tipo C

“Estación Pluviométrica registra precipitación”.

1.5.3.2. Precipitación máxima en 24 horas

Martinez (2019) menciona que “la precipitación máxima en 24 horas es usada para diferentes cálculos generalmente en zonas donde no existen información de caudales máximos. Para su análisis se recurre normalmente a las series de datos de lluvia de los pluviómetros instalados en la zona de interés. Uno de los métodos que tradicionalmente se emplean para realizar estos cálculos es el uso de funciones de distribución de valores extremos para ajustar funciones analíticas a las series anuales de precipitaciones máximas diarias, que permiten luego asignar una frecuencia, o periodo de recurrencia, a cada valor de la precipitación máxima diaria en un lugar. Cuando el objetivo es conocer la lluvia máxima diaria que puede caer en cualquier punto de la región en estudio con una periodicidad establecida, normalmente se recurre al análisis escalar de las cantidades calculadas a partir de las series de datos disponibles en las estaciones pluviométricas. Esta metodología, aunque habitual, tiene algunos inconvenientes que pueden originar grandes incertidumbres en los resultados e incluso errores notables”.

Por otro lado Chagua (2018) menciona que la “Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1.13. Para el caso de nuestras mediciones de precipitación se realizaron las correcciones respectivas

ya que, según fuentes del SENAMHI, las mediciones se realizan al finalizar el día lo cual es considerado como una medición al día”.

1.5.3.3. Precipitación máxima probable

Fattorelli & Fernández (2011) define como “La mayor precipitación para una determinada duración, meteorológicamente posible, para una tormenta de una cierta extensión (tamaño) en un lugar particular y en una determinada época del año”.

Por otro lado Vargas & Chalas (2017) Indica que las precipitaciones máximas de 24 horas son tradicionalmente abordadas desde una perspectiva probabilística o frecuencial, por la aleatoriedad de las lluvias intensas e independiente unas de otros. Es decir, que llueva hoy un acierta cantidad va depender de cómo, cuándo y cuantas veces se haya producido una precipitación así a lo largo de la historia pluviométrica pasada de este sector, y esto se supone única garantía de lo que ocurrirá en el futuro. El objetivo de este tipo de análisis es encontrar un valor de precipitación con una probabilidad dada de que no se supere dicho valor.

1.5.3.4. Precipitación total y efectiva

MTC (2008) menciona que “el exceso de precipitación o precipitación efectiva (Pe), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación vs. el tiempo o Hietograma de diseño hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por filtración con algo de intercepción y almacenamiento superficial”.

a) Método SCS para abstracciones

MTC (2008) menciona que “el Soil Conservation Service (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 Pe 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 Fa es menor o igual a alguna retención

potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P-I_a$ ”.

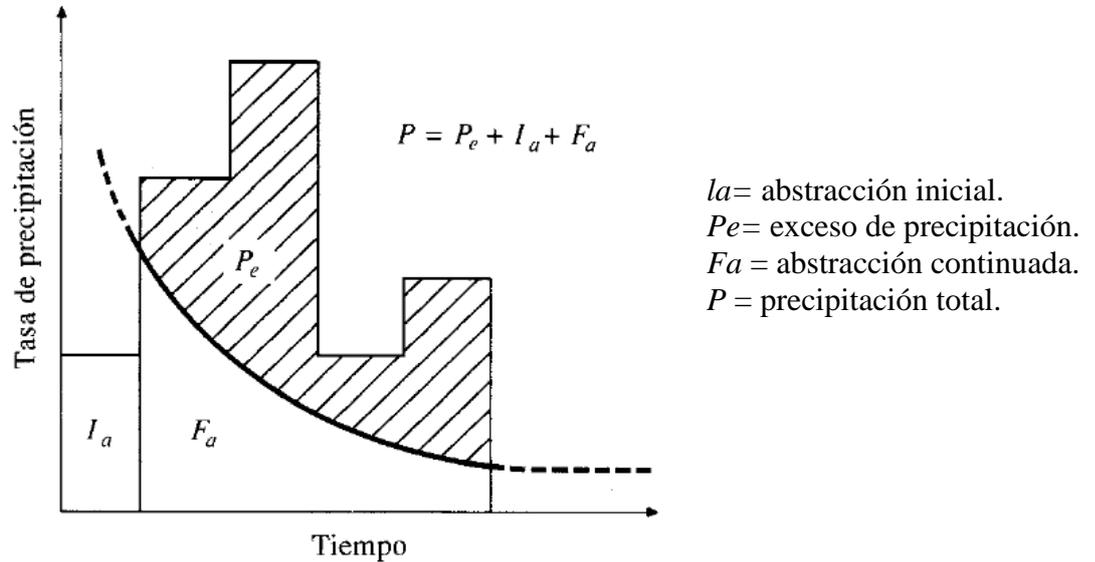


Figura 1.13: Hidrograma unitario triangular

FUENTE: Chow, Maidment, & Mays, (1994)

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

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P-I_a} \quad \text{Ecuación 12}$$

Del principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad \text{Ecuación 13}$$

Combinando las ecuaciones anteriores y resolviendo para P_e se encuentra:

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad \text{Ecuación 14}$$

Dónde:

P_e : Precipitación en exceso, (mm).

P : Precipitación de la tormenta, (mm).

I_a : Abstracción inicial, (mm).

S : Retención potencial máxima, una medida de la capacidad de una cuenca para resumir y retener la precipitación de la tormenta, (mm).

Además, se debe saber la siguiente relación:

$$I_a = 0.2S \quad \text{Ecuación 15}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Ecuación 16}$$

Luego

$$I_a = \frac{5080}{CN} - 50.8 \quad \text{Ecuación 17}$$

Luego reemplazando en la ecuación inicial se tiene.

$$P_e = \frac{[CN(P+50.8)-5080]^2}{CN[CN(P-203.2)+20320]} \quad \text{Ecuación 18}$$

b) Grupo hidrológico del suelo

“Para aclarar los conceptos de los parámetros, de la cual depende del CN es necesario definir el grupo hidrológico del suelo, los cuales pueden ser”:

- **Grupo A**, “tiene bajo potencial de escorrentía, es decir altas tasas de infiltración y están constituidas por arenas o gravas profundas, su valor varía de 7.62-11.43 m/h”.
- **Grupo B**, “tiene un moderado bajo potencial de escorrentía, es decir suelos que tienen tasas de infiltración moderada y están constituidos en suelos profundos de textura moderadamente finas a moderadamente gruesas. Su valor varía de 3.81 – 7.62 m/h”.
- **Grupo C**, “tiene un moderado alto potencial de escorrentía, es decir suelos que tienen tasas de infiltración bajas y están constituido en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua con una textura que va moderadamente fina a fina, su valor varía de 1.27-3.81 m/h”.

Tabla 1.7: Números de Curva en función del uso del suelo y del grupo hidrológico del suelo para Condiciones Antecedentes de Humedad II (Ia = 0.2S)

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO				
	A	B	C	D	
Tierra cultivada:	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	condiciones óptimas	30	58	71	78
	Bosques: tronco delgado, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos del golf, cementerio, etc.					
	óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeable)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeable)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos, pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
	Pavimentos con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	grava	76	85	89	91
	tierra	72	82	87	89

FUENTE: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2008)

“Para una cuenca que consiste en varios tipos de suelo y usos de terreno, el número de curva compuesto es calculado como”:

$$CN_{(compuesto)} = \frac{\sum(A_i)(NC_i)}{\sum(A_i)} \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

$NC_{compuesto}$: NC compuesto usado para los cálculos del volumen de escorrentía.

A_i : Área de drenaje de la subdivisión i.

i : Índice de subdivisiones de la cuenca, por uso uniforme del terreno y tipo de suelo.

NC_i : NC para la subdivisión i.

1.5.4. Periodo de retorno

Gómez (2010) define que es “el número de años en que, en promedio, se presenta un evento se llama periodo de retorno, intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia y se acostumbra a denotarlo por la letra T_R .”

“El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada (T_R) años, se le denomina Período de Retorno (T_R). Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años”.

$$R = 1 - \bar{P}^n \rightarrow R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^n \quad \text{Ecuación 20}$$

Despejando T_R

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/n}} \quad \text{Ecuación 21}$$

“Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T_R , fijando el riesgo de falla admisible R, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra y estaría expresada de la siguiente forma”.

Tabla 1.8: Valores máximos de riesgo admisible de obras de drenaje

Tipo de obra	Riesgo Admisible **
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

(*) Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.

Se recomienda un periodo de retorno “T” de 500 años para el cálculo de la socavación.

(**) Vida útil considerado “n”:

- | | |
|---|--------------|
| a) Puentes y defensas ribereñas | n = 40 años. |
| b) Alcantarillas de quebradas importantes | n = 25 años. |
| c) Alcantarillas de quebradas menores | n = 15 años. |
| d) Drenaje de plataforma y subdrenes | n = 15 años. |

FUENTE: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2008)

Tabla 1.9: Valores de periodo de retorno (Tr) de obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (%)	VIDA UTIL (n)	PERIODO DE RETORNO (Tr)
Puentes (*)	25	40	140
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30	25	71
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35	15	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40	15	30
Subdrenes	40	15	30
Defensas Ribereñas	25	40	140

1.5.5. Análisis estadístico de datos hidrológicos

1.5.5.1. Parámetros usados en análisis de datos hidrológicos

a) Medidas de tendencia central y de dispersión

Estuardo (2012) menciona que “en todo análisis y/o interpretación se pueden utilizar diversas medidas descriptivas que representan las propiedades de tendencia central, dispersión y forma para extraer y resumir las principales características de los datos. Si se calculan a partir de una muestra de datos, se les denomina; si estadísticos se les calcula a partir de una población se les denomina parámetros”.

Media aritmética. “También denominada media o promedio, es la medida de tendencia central que se media aritmética utiliza con mayor frecuencia. Se calcula sumando todas las observaciones de un conjunto de datos, dividiendo después ese total entre el número total de elementos involucrados”.

Media aritmética de X (\bar{x}).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

X: Variable independiente.

x_i : Observaciones número i de la variable X.

n: Numero de datos

Media aritmética de LN(X) o Y (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i)}{n} \quad \text{Ecuación 23}$$

Dónde:

Y: Variable independiente = LN(X)

y_i : Observaciones número i de la variable Y

n: Numero de datos

Desviación estándar. “La desviación típica o desviación estándar es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable”.

Desviación estándar de X (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

X: Variable independiente.

x_i : Observaciones número i de la variable X.

\bar{x} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de X.

n: Numero de datos

Desviación estándar de LN(X) o Y (S_y)

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Dónde:

Y: Variable independiente = LN(X)

y_i : Observaciones número i de la variable Y

\bar{y} : Promedio de la variable Y

n: Numero de datos

b) Coeficiente de determinación o estadística R^2

“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, esto es”.

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} = \frac{SCT - SCE}{SCT} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2} \quad \text{Ecuación 26}$$

Dónde:

SCT: Suma de cuadrados total

SCR: Suma de cuadrados debida a la regresión

SCE: Suma de cuadrados debida al error

R^2 Toma valores de $0 \leq R^2 \leq 1$, si su valor es cercano o igual a 1 significa un ajuste perfecto, El valor es cercano a cero indica la no representatividad del modelo.

1.5.5.2. Prueba de datos dudosos método del Water Resources

Chow, Maidment, & Mays, (1994) menciona que “los datos dudosos (outliers) son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos requieren un criterio que involucre consideraciones matemáticas e hidrológicas. De acuerdo con el Water Resources Council (1981), si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos. Cuando la asimetría de la estación está entre ± 0.4 , deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos”.

Precipitación máxima aceptada límite superior.

$$PH = 10^{(xH)} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$XH = \bar{x} + K_n S \quad \text{Ecuación 28}$$

Precipitación mínima aceptada límite inferior.

$$PL = 10^{(xL)} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$XL = \bar{x} - K_n S \quad \text{Ecuación 30}$$

Dónde:

PH: Límite de confianza superior.

PL: Límite de confianza inferior.

\bar{x} : Promedio de los logaritmos de la muestra.

S: Desviación Estándar de los logaritmos de la muestra.

Kn: Valor para la prueba de datos dudosos que depende del tamaño de la muestra.

Tabla 1.10: Valores para coeficiente (Kn).

Tamaño de muestra n	Kn						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.7	80	2.94
15	2.247	29	2.549	43	2.71	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.107
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.76	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.248	37	2.65	55	2.804		

FUENTE: Chow, Maidment, & Mays (1994)

1.5.5.3. Funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología

MTC (2008) define “que el análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos”.

a) Distribución Normal

“La función de densidad de probabilidad normal se define como”:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i-\bar{x}}{s}\right)^2} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde

f (x): Función densidad normal de la variable X.

X: Variable independiente.

x_i : Observaciones número i de la variable X.

\bar{x} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de X.

S : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de X.

b) Distribución LogNormal

La función de distribución de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{s_y\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_i-\bar{y}}{s_y}\right)^2} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

f (x): Función densidad normal de la variable Y.

Y: Variable independiente.

y_i : Observaciones número i de la variable Y.

\bar{y} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de Y.

S_y : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de Y.

c) Distribución Gumbel

“La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión”:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \text{Ecuación 33}$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$\beta = u - 0.45\sigma \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

d) Distribución LogGumbel

La variable aleatoria reducida logGumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad \text{Ecuación 36}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida logGumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{Ecuación 37}$$

Parámetro α

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S_y \quad \text{Ecuación 38}$$

Parámetro β

$$\mu = \bar{y} - 0.5772156649\alpha \quad \text{Ecuación 39}$$

1.5.5.4. Pruebas de bondad de ajuste

MTC (2008) define que “las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida”.

a) Prueba de Smirnov – Kolmogorov

“Consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada p(x) y la estimada f(x)”.

$$D = \max|p(x) - f(x)| \quad \text{Ecuación 40}$$

Con un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significación seleccionado. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$p(x) = \frac{m}{n+1} \quad \text{Ecuación 41}$$

Tabla 1.11: Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov

Tamaño de la muestra N	NIVEL DE SIGNIFICANCIA α				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

FUENTE: Cahuana & Yugar (2009)

1.5.5.5. Análisis de frecuencia de eventos extremos

Chow, Maidment, & Mays, (1994), define que “los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes y sequias. La magnitud

de un evento extremo esta inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados. El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Se supone que la información hidrológica analizada es independiente y está idénticamente distribuida, y el sistema hidrológico que la produce (por ejemplo, un sistema de tormenta) se considera estocástico, independiente del espacio y del tiempo”.

a) Análisis de frecuencia utilizando factores de frecuencia

Chow, Maidment, & Mays, (1994), menciona que “el cálculo de las magnitudes de eventos extremos requiere que la función de distribución de probabilidad sea invertible, es decir, dado un valor para T_r o $[F(X_r) = T_r / (T_r - 1)]$, el correspondiente valor de x_{T_r} puede determinarse. Algunas funciones de distribución de probabilidad no son fácilmente invertibles, incluyendo las distribuciones normal Pearson Tipo III, requiriéndose un método alternativo para calcular las magnitudes de eventos extremos para estas distribuciones.

La magnitud x_{T_r} de un evento hidrológico extremo puede representarse como la media (\bar{x}) más el producto de la desviación estándar multiplicada con el factor de frecuencia”.

$$x_{T_r} = \bar{x} + k_{T_r} s \tag{Ecuación 42}$$

En el evento de que la variable analizada sea $y = \log x$, entonces se aplica el mismo método a las estadísticas para los logaritmos de los datos, utilizando.

$$y_{T_r} = \bar{y} + k_{T_r} s_y \tag{Ecuación 43}$$

a.1 Distribución Normal. “El factor de frecuencia puede expresarse utilizando la ecuación”

$$x_{T_r} = \bar{x} + k_{T_r} s \tag{Ecuación 44}$$

Donde:

x_{T_r} : Evento extremo.

\bar{x} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de X.

S: Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de X.

k_{T_r} : Factor de frecuencia.

“El valor de z correspondiente a una probabilidad de excedencia de P ($P = 1/T_r$) puede calcularse encontrando el valor de una variable intermedia w”:

$$w = \left[\ln\left(\frac{1}{p^2}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (0 < p \leq 0.5) \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

w: Variable normal estándar

P: Probabilidad de ocurrencia

Y luego calculando z utilizando la aproximación

$$K = z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

K: Factor de frecuencia.

W: Variable normal estándar

a.2 Distribución LogNormal. “El factor de frecuencia puede expresarse utilizando la ecuación”

$$y_T = \bar{y} + k_T s_y \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

y_T : Evento extremo. \bar{y} = parámetro de localización, igual a la media aritmética de Y.

s_y : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de Y.

K: Factor de frecuencia.

El factor frecuencia (K) es igual al de la distribución Normal

a.3 Distribución de Gumbel o valor extremo. “Distribución De Gumbel o Valor Extremo. la distribución de Gumbel o Valor Extremo se expresa de la siguiente manera”.

$$x_T = \bar{x} + k_T s \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

x_T : Evento extremo.

\bar{x} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de X.

S: Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de X.

k_T : Factor de frecuencia.

Factor de frecuencia (k_T)

$$k_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} [0.5772 + W] \quad \text{Ecuación 49}$$

Variable normal estándar (w)

$$W = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right] \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

W: Variable normal estándar

P: Probabilidad de ocurrencia

Probabilidad de ocurrencia (P)

$$P = \frac{1}{T_r} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia

T_r : Periodo de retorno, en (años)

a.4 Distribución de LogGumbel. - la distribución de LogGumbel se expresa de la siguiente manera.

$$x_T = 10^{(\bar{y} + K S_y)} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

x_T : Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, en (mm).

\bar{y} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de Y.

S_y : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de Y.

K: Factor de frecuencia.

El factor frecuencia (K) es igual al de la distribución Gumbel

1.5.6. Determinación de la Tormenta de diseño

MTC (2008) define que “una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales”.

“Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta”.

1.5.6.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

“La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como”:

$$i = \frac{P}{t} \quad \text{Ecuación 53}$$

“Donde P es la profundidad de lluvia (mm) y Td es la duración, dada usualmente en horas. La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño”.

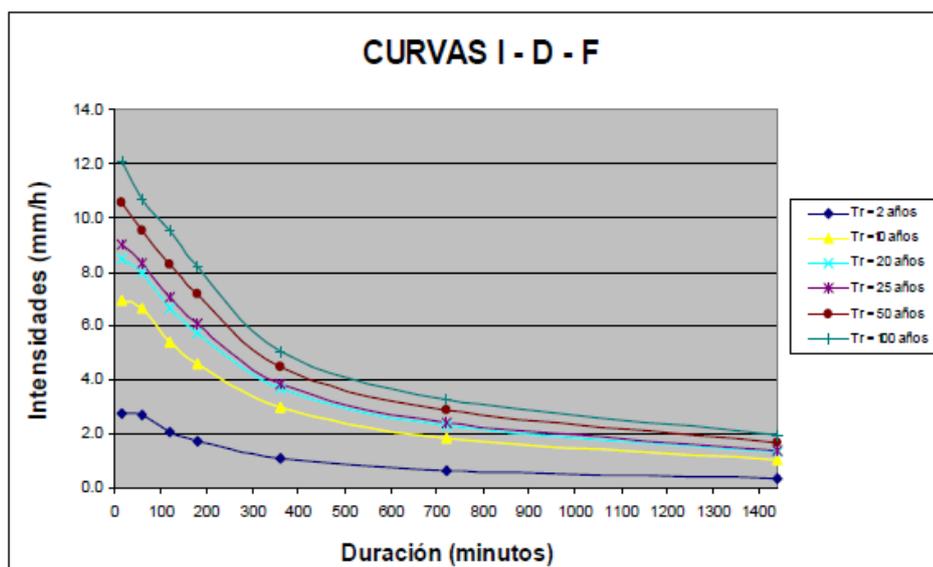


Figura 1.14: Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

FUENTE: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2008)

“Las curvas de intensidad – duración – frecuencia también pueden expresarse como ecuaciones con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Un modelo general es el siguiente”:

$$I = \frac{KT^m}{(d+c)^n} \quad \text{Ecuación 54}$$

“Donde I es la intensidad de lluvia de diseño, D es la duración y a, b y m son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno, asimismo para su determinación se requiere hacer una linealización previa de la ecuación para luego hallar los parámetros a, b y m por medio de regresión lineal”.

“En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración”.

Tabla 1.12: coeficientes de duración

Duración (PP) horas	Coficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.5
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.9
20	0.93
22	0.97
24	1
48	1.32

FUENTE: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2008)

“Para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente”:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

Pd = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P24h = precipitación máxima en 24 horas (mm)

“La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración. Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación”:

$$I = \frac{K T_R^m}{d^n} \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n: Factores característicos de la zona de estudio

Tr: Período de retorno en años

T: Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min).

Para determinar los parámetros K, m, n se aplicará una correlación lineal múltiple. para este fin se adecua la ecuación.

$$\log i = \log k + m \log T_r - n \log d \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

$$Y = \log I, A = \log k, B = m, X_1 = \log T_r, X_2 = \log d, C = -n \quad \text{Ecuación 58}$$

$$\text{Ecuación de la recta } Y = A + B X_1 + C X_2 \quad \text{Ecuación 59}$$

Para determinar los parámetros **A**, **B**, **C** se deben resolver el sistema de ecuaciones de mínimos cuadrados.

$$\sum Y = A * n + B \sum X_1 + C \sum X_2 \quad \text{Ecuación 60}$$

$$\sum X_1 Y = A \sum X_1 + B \sum X_1^2 + C \sum X_1 X_2 \quad \text{Ecuación 61}$$

$$\sum X_2 Y = A \sum X_2 + B \sum X_1 X_2 + C \sum X_2^2 \quad \text{Ecuación 62}$$

Los factores característicos de la zona de estudio se definen como: $k=10^A$, $a=B$, $b=-C$

1.6. Estimación de caudales

“Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q . cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficie”.

1.6.1. Método racional

MTC (2008) “Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, $A < 10 \text{ km}^2$. Considerar que la duración de P es igual a T_c . La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión”.

$$Q = 0.278CIA$$

Ecuación 64

Donde:

Q : Descarga máxima de diseño, en (m^3/s).

C : Coeficiente de escorrentía

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h).

A : Área de la cuenca, en (km^2).

Tabla 1.13: Coeficientes de escorrentía método racional

COBERTUR A VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIAD A	ALT A	MEDI A	SUAV E	DESPRECIABL E
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Imnermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeabl e	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Imnermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeabl e	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Imnermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeabl e	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Imnermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeabl e	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Imnermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeabl e	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

FUENTE: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2008)

1.6.2. Método racional modificado

MTC (2008) indica que “es el método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España, permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 y 24 horas”.

$$Q = 0,278 CIAK$$

Ecuación 65

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (km²)

K: Coeficiente de Uniformidad Las fórmulas que definen los factores de la fórmula general, son los siguientes:

Tiempo de concentración (Tc)

$$T_c = 0.30 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76} \quad \text{Ecuación 66}$$

Donde:

L: Longitud del cauce mayor (km)

S: Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

Coefficiente de uniformidad

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14} \quad \text{Ecuación 67}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

Coefficiente de simultaneidad o factor reductor (kA)

$$K_A = 1 - (\log_{10} A / 15) \quad \text{Ecuación 68}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (km²)

Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = K_A P_d \quad \text{Ecuación 69}$$

Donde:

kA: Factor reductor

Pd: Precipitación máxima diaria (mm)

Intensidad de Precipitación (I)

$$I = \left(\frac{P}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad \text{Ecuación 70}$$

Donde:

P: Precipitación máxima corregida (mm)

Tc: Tiempo de concentración (horas)

Coefficiente de escorrentía (C)

$$C = \frac{(P_d - P_0) * (P_d + 23 * P_0)}{(P_d + 11 * P_0)^2} \quad \text{Ecuación 71}$$

Donde:

P_d : Precipitación máxima diaria (mm).

P_0 : Umbral de escorrentía = $(5000/CN) - 50$. Ecuación 72

CN: Número de curva.

1.6.3. Hidrograma unitario

MTC (2008) define que “el hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica; siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta unidad de una duración determinada”.

1.6.3.1. Hidrograma unitario triangular de SCS

El volumen generado por la separación de la lluvia neta y abstracciones y es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario, que esquematiza la respuesta de una cuenca a una tormenta aislada, Proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma, como son: caudal pico (Q_p); tiempo base (T_b) y tiempo el pico (T_p), como se muestra en la siguiente figura:

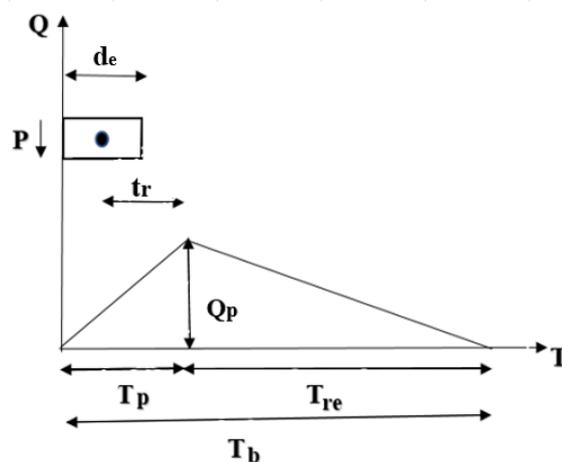


Figura 1.15: Hidrograma Unitario Triangular del SCS

FUENTE: Chow, Maidment, & Mays, (1994)

Donde:

Q: Caudal, en (m³/s).

T: Tiempo, en (h)

Q_p : Caudal máxima o pico, en (m³/s).

D: Duración, en (h)

T_p: Tiempo pico, en (h)

T_{re}: Tiempo de recesión, en (h)

t_r: Tiempo de retraso, en (h)

T_b: Tiempo base, en (h)

Este método es recomendable tan solo para cuencas de hasta a 30 Km², y está determinada con la siguiente La ecuación.

$$Q = \frac{0.208 P_e A}{T_p} \quad \text{Ecuación 73}$$

Donde:

Q: Caudal máxima o pico, en (m³/s).

P_e: Precipitación efectiva, en (mm).

A: Área de la cuenca, en (km²)

T_p: Tiempo pico, en (h)

Los factores de la fórmula general, son los siguientes:

Duración en exceso (d_e)

$$d_e = 2\sqrt{T_C} \quad \text{Ecuación 74}$$

Donde:

d_e: Duración en exceso, en (hr).

T_C: Tiempo de concentración método Kirpich según bibliografía (hr).

Tiempo de retraso (t_r)

$$t_r = 0.6T_C \quad \text{Ecuación 75}$$

Donde:

t_r: Tiempo de retraso, en (h).

T_C: Tiempo de concentración método Kirpich según bibliografía (h).

Tiempo pico (T_p)

$$T_p = \sqrt{T_C} + 0.6T_C \quad \text{Ecuación 76}$$

Donde:

T_p : Tiempo pico, en (hr).

T_C : Tiempo de concentración método Kirpich según bibliografía (h).

Tiempo de recisión (T_{re})

$$T_{re} = 1.67T_p \quad \text{Ecuación 77}$$

Donde:

T_{re} : Tiempo de recisión, en (h).

T_p : Tiempo pico, en (h).

Tiempo base (T_b)

$$T_b = 2.67T_p \quad \text{Ecuación 78}$$

Donde:

T_b : Tiempo base, en (h).

T_p : Tiempo pico, en (h).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Materiales y equipos

2.1.1. Materiales y Equipos

- Material bibliográfico.
- papel.
- lápiz.
- laptop TOSHIBA Core i.7.
- Hojas de Cálculo Microsoft Excel.
- Software: MATLAB, Hidroesta, Google Earth, ArcGIS, Global Mapper, AutoCAD Civil 3D.

2.2. Metodología

Los métodos procedimentales utilizados en la Formulación de un programa en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras – 2020, se detalla a continuación.

2.2.1. Actividades previas

Revisión bibliográfica detallada, basados en conceptos básicos de hidrología de drenaje transversal en carreteras y de Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, del reglamento nacional de gestión de infraestructura vial.

Instalación del software MATLAB R2020a, revisión bibliográfica, y capacitación en programación para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, cálculo numérico y elaboración de un interfaz gráfico.

Desarrollo de hojas de cálculos hidrológicos de drenaje transversal de carreteras en Microsoft Excel, comparando con hojas de cálculos existentes y programas afines como el Hidroesta.

Asignación de nombre al programa desarrollado en MATLAB como HYDRETC V1, según su acrónimo de hidrología de drenaje transversal en carreteras.

Delimitación de microcuencas aportantes al sistema de drenaje transversal en carreteras, ubicado entre las comunidades de Manitea Baja y Unión Rosales del distrito de Kimbiri-La Convención – Cusco, donde se obtuvo como resultados 09 microcuencas. Selección de estaciones meteorológicas como: Machente, Pichari, Sivia, Teresita y Cirialo de los cuales se tomó los datos meteorológicos de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax), con los resultados de los datos de microcuencas mostradas en la Tabla 2.1 y de las precipitaciones máximas de 24 horas mostradas en la Tabla 2.2 se realizó el ejemplo de aplicación del programa HYDRECT V1.

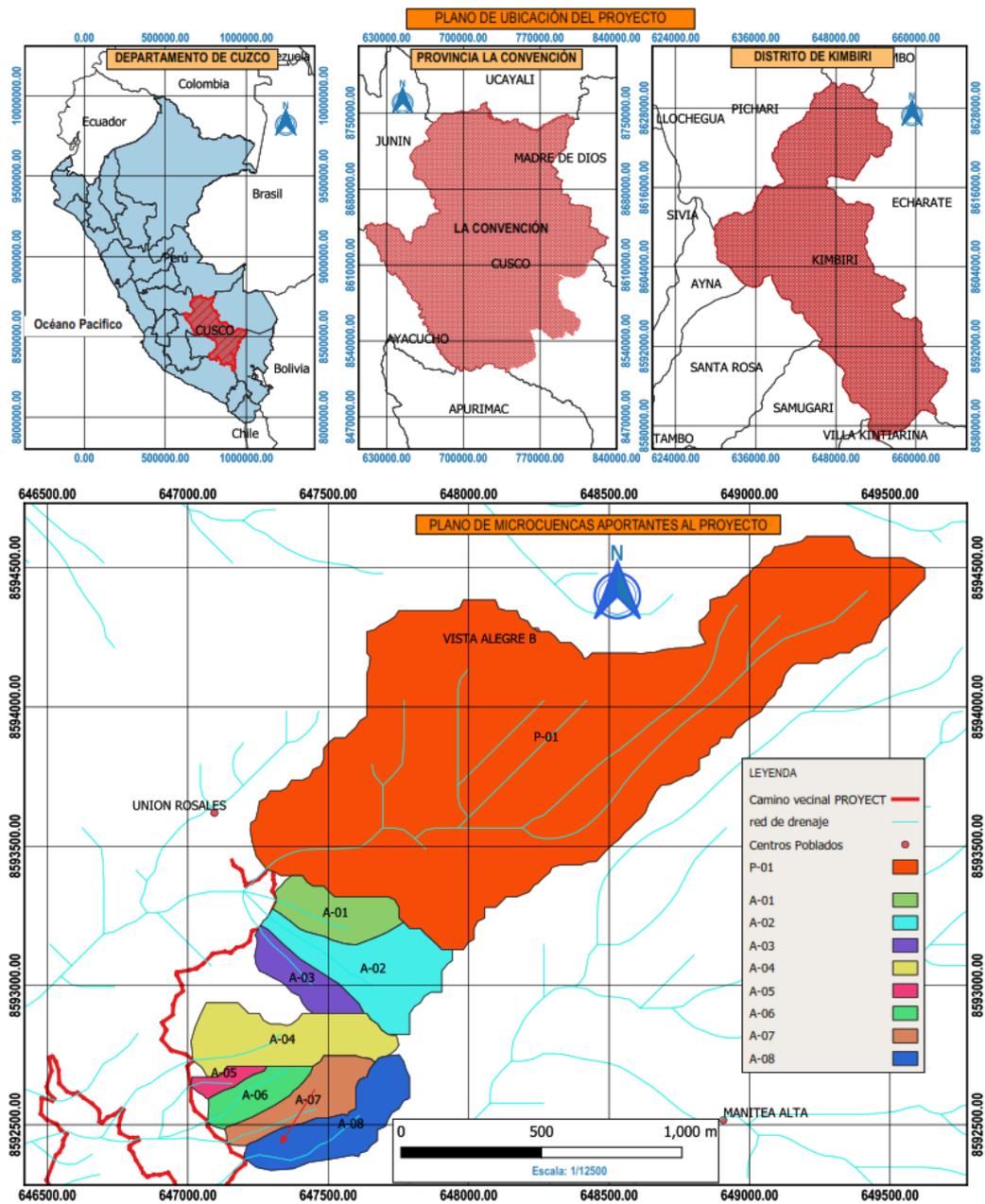


Figura 2.1: sistema de drenaje transversal en carreteras para el ejemplo de aplicación

Tabla 2.1: Características físicas de las microcuencas, coeficiente de escurrimiento (C), numero de curva (NC) y periodo de retorno (Tr).

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Lca (km)	Cmca (msnm)	Cmca (msnm)	Cs (msnm)	C	CN	Tr (años)
P-01	0.22	1.53	6.769	2.556	1572	1579	919	0.4	77	140
A-01	0.34	0.068	1.164	0.277	1011	1015	927	0.4	77	71
A-02	0.405	0.131	1.888	0.54	1020	1039	923	0.4	77	71
A-03	0.46	0.049	1.101	0.285	1001.25	1007.25	925.21	0.4	77	71
A-04	1.24	0.125	1.844	0.333	984	989	909.52	0.4	77	71
A-05	1.34	0.014	0.643	0.149	921	927	897	0.4	77	71
A-06	1.49	0.044	0.956	0.341	964	973	886.5	0.4	77	71
A-07	1.6	0.068	1.381	0.343	969	976	886	0.4	77	71
A-08	1.69	0.158	1.75	0.52	992	1008	893.5	0.4	77	71

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

P (km): Perímetro, en kilómetros.

Lca(km): Longitud de cauce, en kilómetros.

Cmca (msnm): Cota mayor de cauce, en metros sobre el nivel del mar.

Cmca (msnm): Cota mayor de cuenca, en metros sobre el nivel del mar.

Cs (msnm): Cota de salida, en metros sobre el nivel del mar.

C: Coeficiente de escorrentía.

CN: Numero de curva.

Tr (años): Periodo de retorno.

Las cuencas están representadas con nomenclaturas según el tipo de estructura proyectado en su punto de drenaje como: P-1 puentes y A-1, A-2, A-3, A-8 alcantarillas las cuales poseen diferentes periodos de retorno.

Las progresivas como dato de entrada se agrega en unidades numéricas con decimales, que posteriormente serán transformadas por el programa, ejemplo (0.22=0+220)

Tabla 2.2: Precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)

Nro.	Año	Pmax
1	1964	60.00
2	1965	44.90
3	1966	55.00
4	1967	61.30
5	1968	61.30
6	1969	57.00
7	1970	60.30
8	1971	56.40
9	1972	85.20
10	1973	68.00
11	1974	96.20
12	1975	85.40
13	1976	61.60
14	1977	78.20
15	1978	84.00
16	1979	42.30
17	1980	40.10
18	1981	48.90
19	1982	41.90
20	1983	41.20
21	1984	42.90
22	1985	38.90
23	1986	89.10
24	1987	82.20
25	1988	44.00
26	1989	68.00
27	1990	56.00
28	1991	43.50

Donde:

Nro: Posición de dato.

Año: Año de registro.

Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en milímetros.

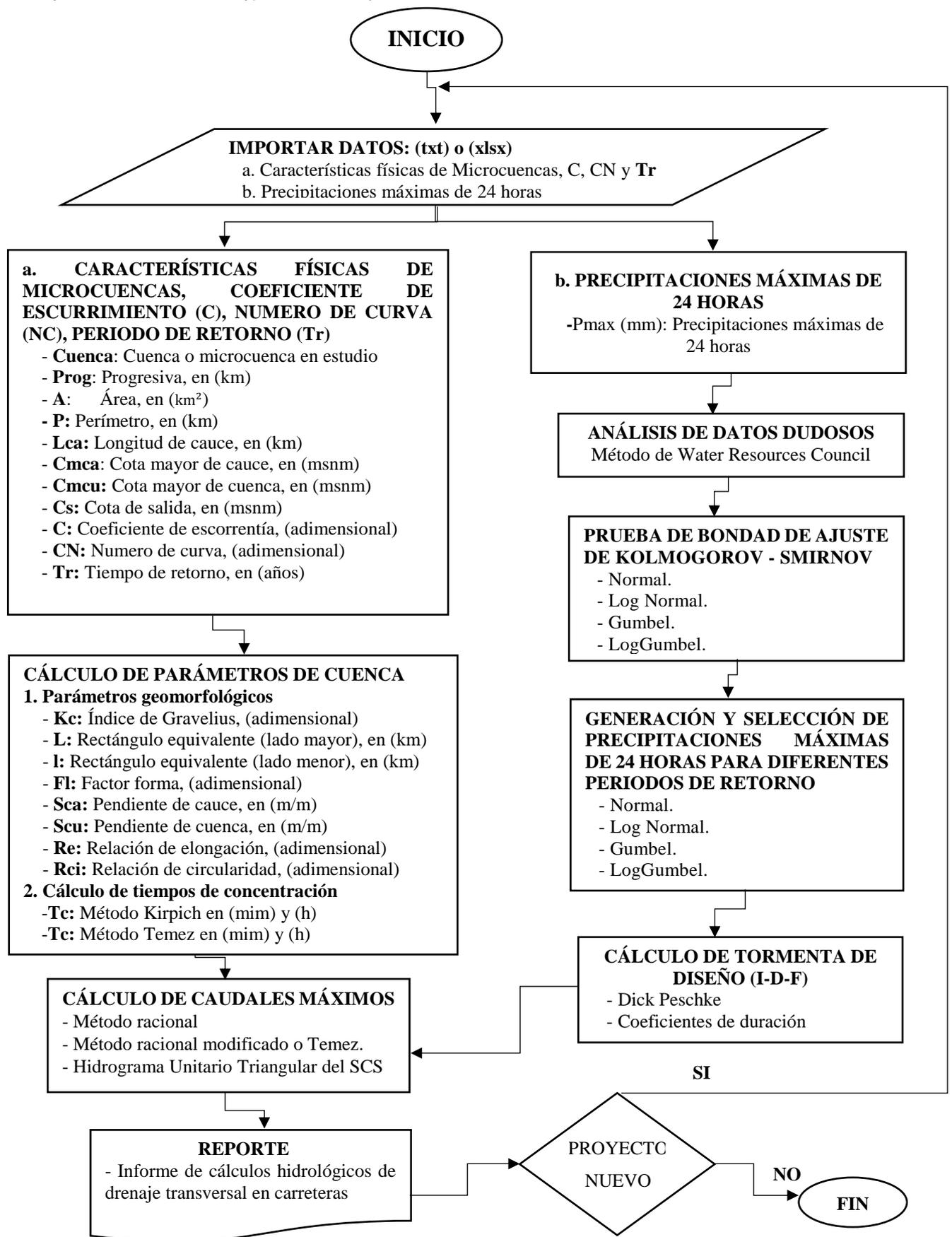
Las precipitaciones máximas de 24 horas mostradas en la Tabla 2.2, es el resultado de los valores máximos entre las estaciones de Machente, Pichari, Sabia, Teresita y Cirialo.

2.2.2. Formulación y vinculación de algoritmos en MATLAB, para optimizar el tiempo de cálculo hidrológico de drenaje transversal en carreteras

Se formuló algoritmos que vinculen todos los procesos de cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras como:

- Importar datos de características físicas de microcuencas (cuena, ubicación, área, perímetro, longitud de cauce, cota mayor de cauce, cota mayor de cuena y cota de salida), coeficiente de escurrimiento (C), numero de curva (NC), periodo de retorno (Tr) y precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax).
- Calcular los parámetros de cuena como: los parámetros geomorfológicos (índice de Gravelius, Rectángulo equivalente, Factor forma, Pendiente de la Cauce, Pendiente de la Cuenca, Relación de Elongación y Relación de circularidad) y tiempos de concentración con los métodos de Kirpich y Temez.
- Realizar el análisis de datos estadísticos de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax), como: prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, cálculo y selección de intensidades máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno con los métodos de Dick Peschke y coeficientes de duración.
- Calcular caudales máximos con los métodos: racional, racional modificado o Temez e hidrograma unitario triangular del SCS.
- Por último, se desarrolló un algoritmo que reporte un informe de todo el proceso de cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras.

Diagrama de flujo: Formulación y vinculación de algoritmos en MATLAB, para optimizar el tiempo de cálculo hidrológico de drenaje transversal en carreteras



FUENTE: Elaboracion propia

2.2.2.1. Algoritmo para cálculo de parámetros de cuenca

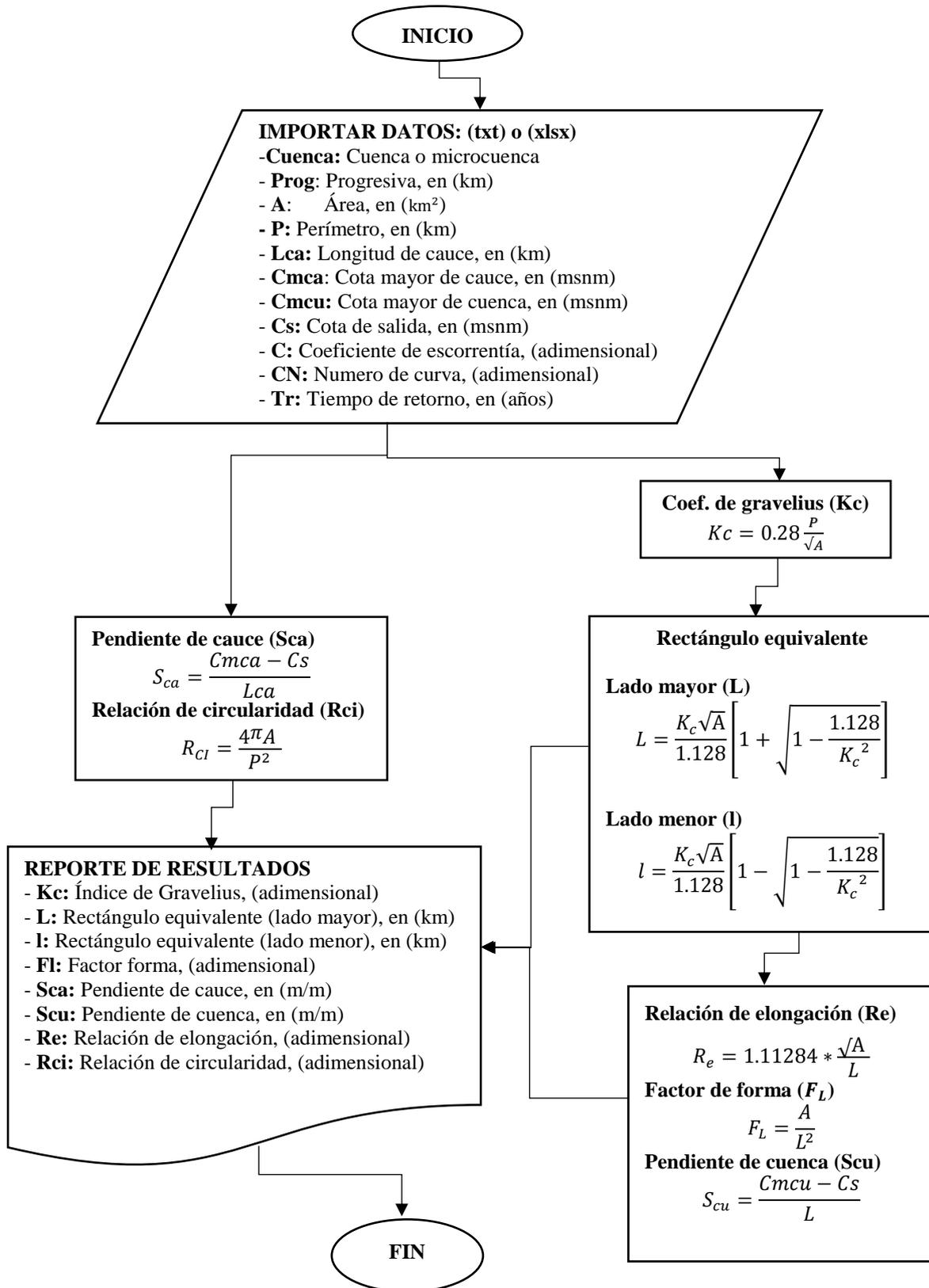
En primer lugar, se desarrolló un algoritmo para importar datos en formato de txt y xls, de características físicas de cuencas o microcuencas (cuenca, ubicación, área, perímetro, longitud de cauce, cota mayor de cauce, cota mayor de cuenca y cota de salida), coeficiente de escurrimiento (C), número de curva (NC) y periodo de retorno (Tr), el cual consta de 11 columnas que están diseñadas para importar en la siguiente orden: [Cuenca, Prog (km), A (km²), P (km), Lca (km), Cmca (msnm), Cmcu (msnm), Cs (msnm), C, CN, Tr (años)].

Para el cálculo de parámetros de cuenca, se desarrolló algoritmos que procesen los datos importados de características físicas de cuencas o microcuencas, como se indica a continuación.

a) Parámetros geomorfológicos

- Calcular coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc), en función al área y perímetro de la cuenca o microcuenca.
- Calcular el rectángulo equivalente lado mayor (L) y lado menor (l), en función al área y índice de Gravelius.
- Calcular factor forma (Ff), en función al área y lado mayor de la cuenca o microcuenca.
- Calcular pendiente de cauce (Sca), en función a la cota más alta de la cuenca, cota de salida y lado mayor de la cuenca.
- Calcular pendiente de cuenca (Scu), en función a la cota más alta del cauce, cota de salida y longitud más larga del cauce.
- Calcular relación de elongación (Re), en función al área y lado mayor de la cuenca o microcuenca.
- Calcular relación de circularidad (Rci), en función al área y perímetro de la cuenca o microcuenca.
- Reportar los resultados de parámetros geomorfológicos.

Diagrama de flujo: Algoritmo para calcular de parámetros geomorfológicos

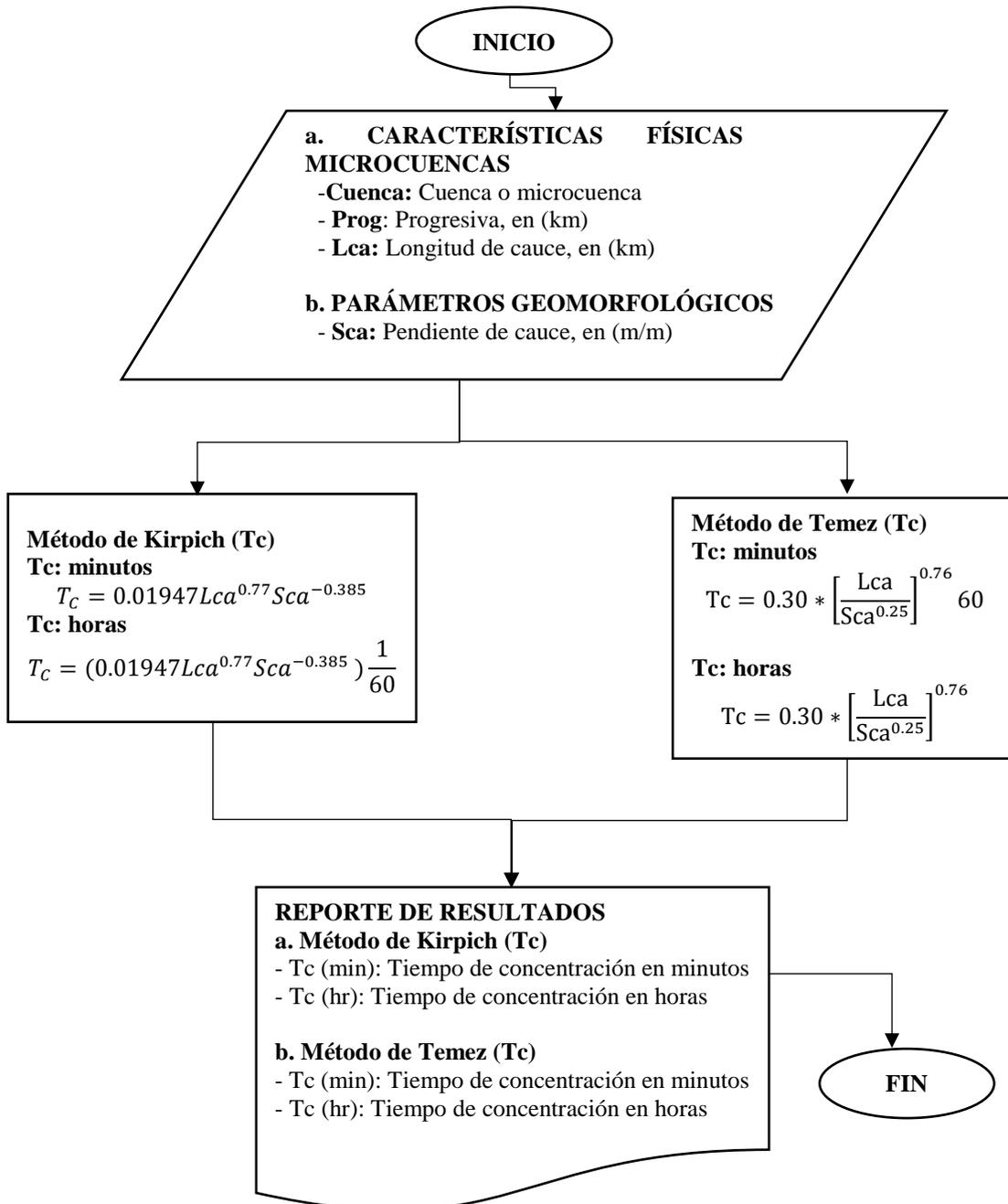


FUENTE: Elaboracion propia

b) Tiempo de concentración

- Calcular el tiempo de concentración por el método Kirpich (T_c), en función de longitud de cauce y pendiente del cauce.
- Calcular el tiempo de concentración por el método Temez (T_c), en función de longitud de cauce y pendiente del cauce.
- Reportar los resultados de tiempos de concentración

Diagrama de flujo: Algoritmo para calcular tiempo de concentración



FUENTE: Elaboracion propia

2.2.2.2. Algoritmo para análisis estadísticos de datos hidrológicos

En primer lugar, se desarrolló un algoritmo para importar datos en formato de txt o xls, de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax), el cual consta de 03 columnas que están diseñadas para importar en la siguiente orden: [Nro, Año y Pmax (mm)].

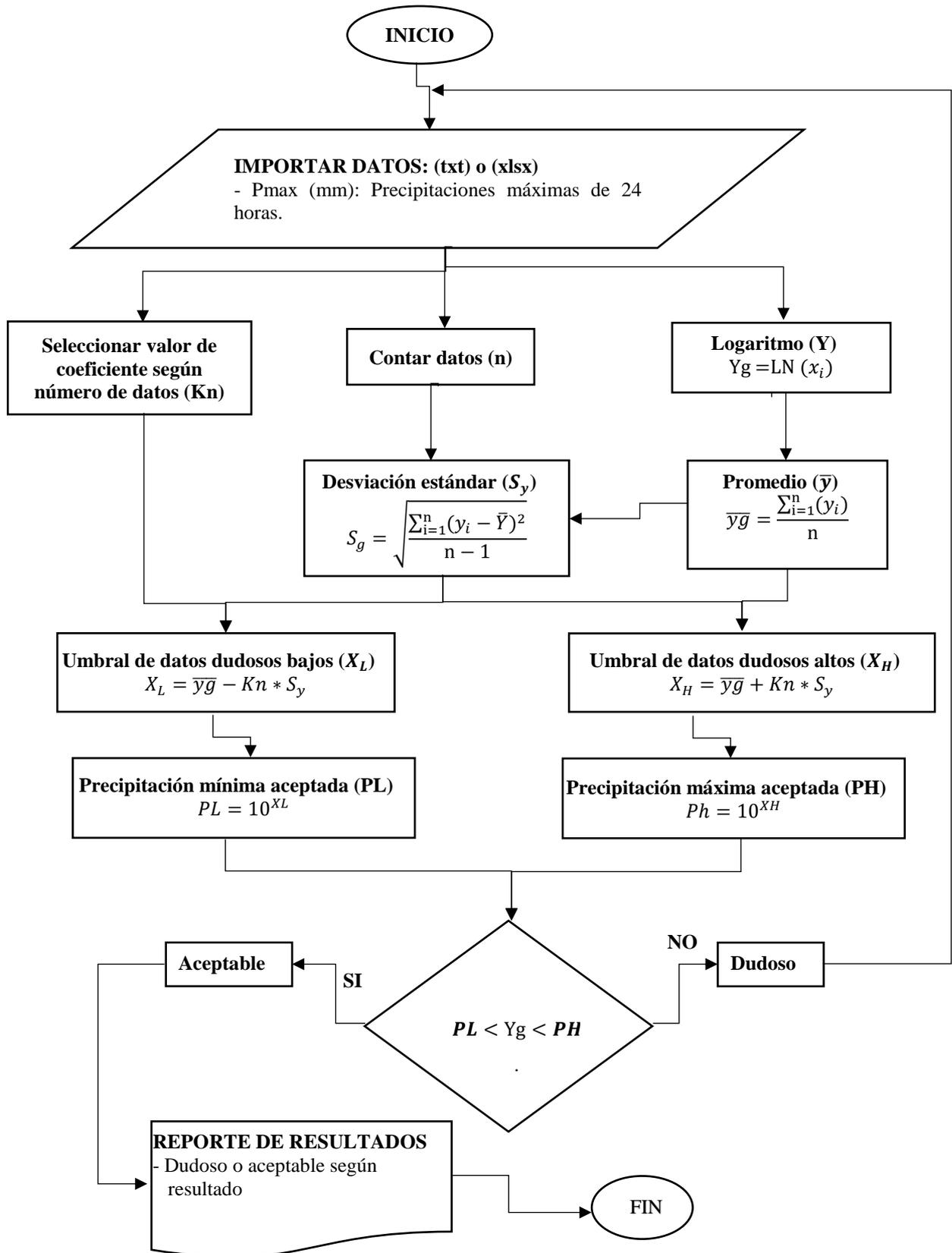
Posteriormente se desarrollaron los siguientes algoritmos

a) Algoritmo para prueba de datos dudosos método de Water Resources Council

Para el análisis de datos dudosos se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Contar datos de precipitaciones máximas de 24 horas (n).
- Transformar las precipitaciones máximas de 24 horas en logaritmos en base 10 (Y_g)
- Calcular el promedio de precipitaciones máximas transformadas (\bar{y}_g)
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones máximas transformadas (S_g)
- Seleccionar valor de coeficiente (kn), según número de datos.
- Calcular Umbral de datos dudosos bajos (X_l), en función del promedio desviación estándar y coeficiente de numero de datos.
- Determinar la Precipitación mínima aceptada (PL), en función de umbral de datos dudosos bajos.
- Calcular Umbral de datos dudosos altos (X_H), en función del promedio desviación estándar y coeficiente de numero de datos.
- Determinar la Precipitación mínima aceptada (Ph), en función de umbral de datos dudosos altos.
- Analizar los datos de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax) si se encuentran dentro de los límites de precipitación máxima y mínima aceptada.
- Reportar los resultados de la prueba de datos dudosos

Diagrama de flujo: Algoritmo para la prueba de datos dudosos



FUENTE: Elaboracion propia

b) Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

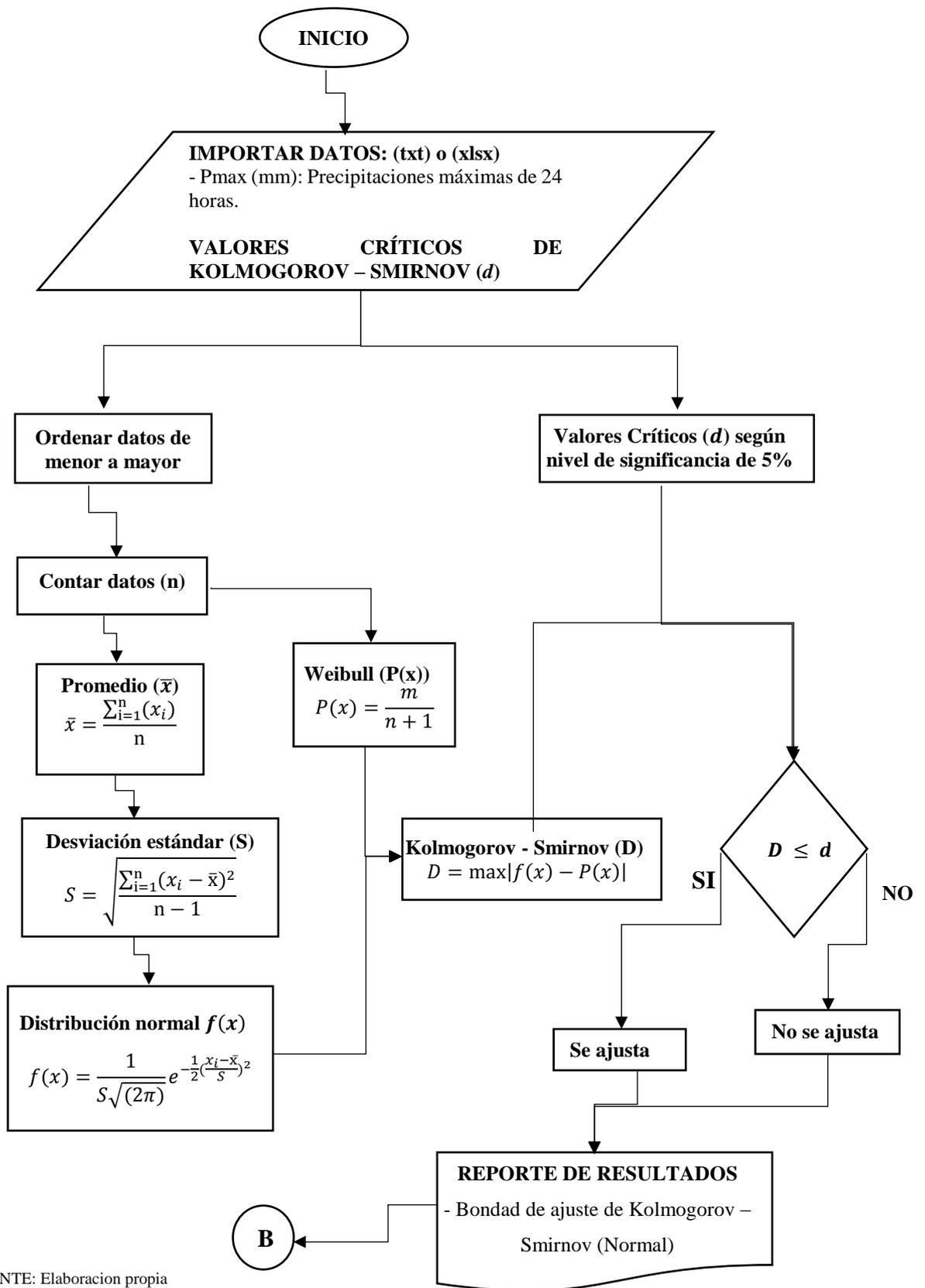
Se desarrolló algoritmos que realice la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, de los datos de precipitaciones máximas de 24 horas, con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, y elija la más representativa o la que mejor se ajuste.

b.1 Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Normal)

Para el análisis de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Normal), se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Contar datos de numero de cuencas o microcuencas (n).
- Ordenar los datos de precipitaciones máximas de 24 horas (P_{max}) de menor a mayor.
- Calcular el promedio de precipitaciones máximas de 24 horas (\bar{x}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones (S), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Determinar la probabilidad observada o empírica con el método de Weibull $P(x)$. en función del número de datos y posición de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Determinar la función de densidad de probabilidad estimada o teórica normal $f(x)$, en función de desviación estándar y promedio y los datos de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Realizar la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Normal), que consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $p(x)$ y la estimada $f(x)$, con un valor crítico (d) según el número de datos y el nivel de significancia; si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución Normal de lo contrario rechaza.
- Reportar los resultados de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Normal).

Diagrama de flujo: Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Normal)



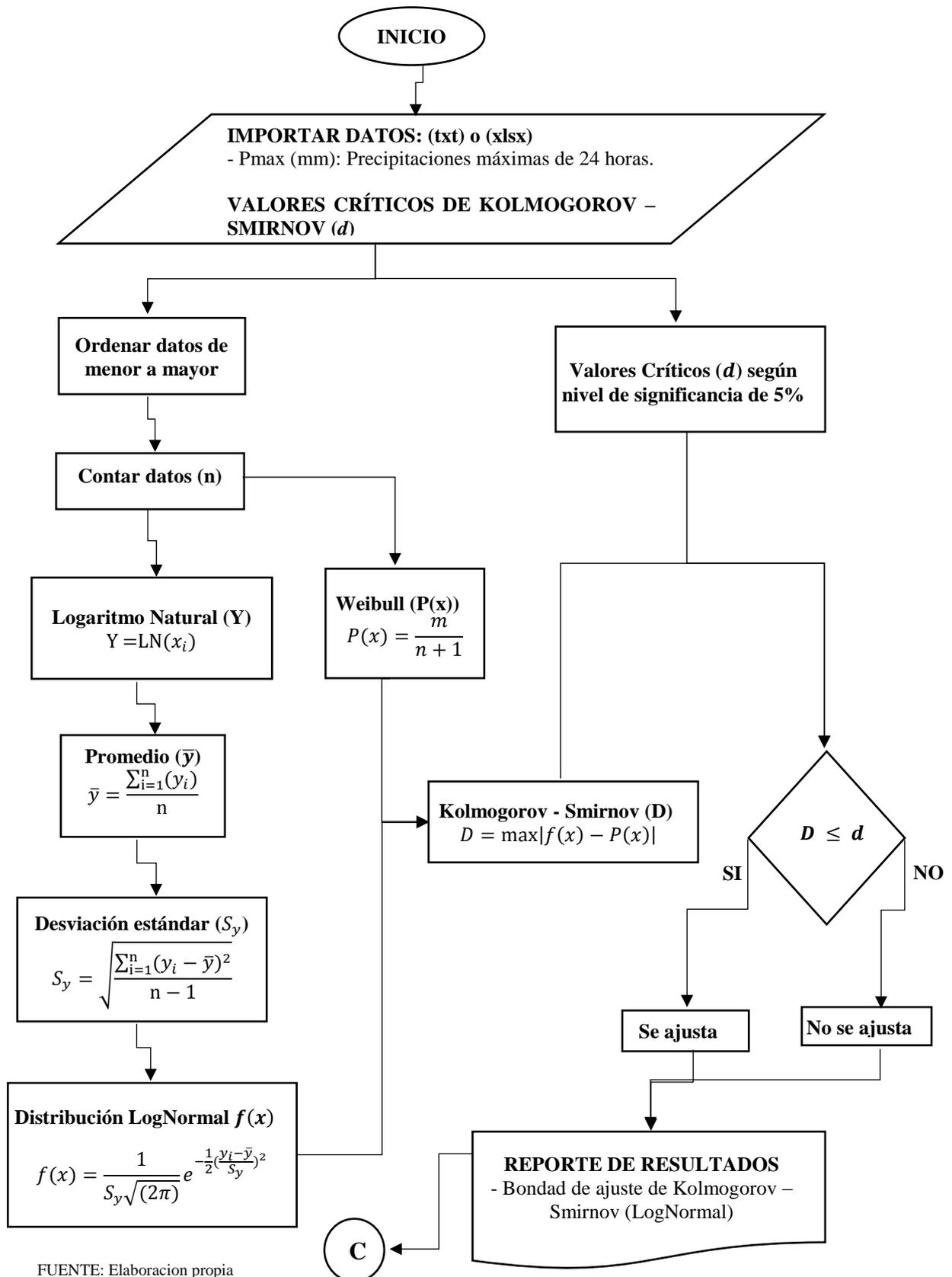
FUENTE: Elaboración propia

b.2 Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogNormal)

Para el análisis de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogNormal), se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Contar datos de numero de cuencas o microcuencas (n).
- Ordenar los datos de precipitaciones máximas de 24 horas (P_{max}) de menor a mayor.
- Transformar las precipitaciones máximas de 24 horas en logaritmos naturales. (Y)
- Calcular el promedio de precipitaciones máximas transformadas (\bar{y}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y)
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones máximas transformadas (S_y), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y).
- Determinar la probabilidad observada o empírica con el método de Weibull $P(x)$, en función del número de datos y posición de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Determinar la función de densidad de probabilidad estimada o teórica LogNormal $f(x)$, en función de desviación estándar y promedio y los datos de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y).
- Realizar la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogNormal), que consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $p(x)$ y la estimada $f(x)$, con un valor crítico (d) según el número de datos y el nivel de significancia; si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución LogNormal de lo contrario rechaza.
- Reportar los resultados de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogNormal).

Diagrama de flujo: Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogNormal)



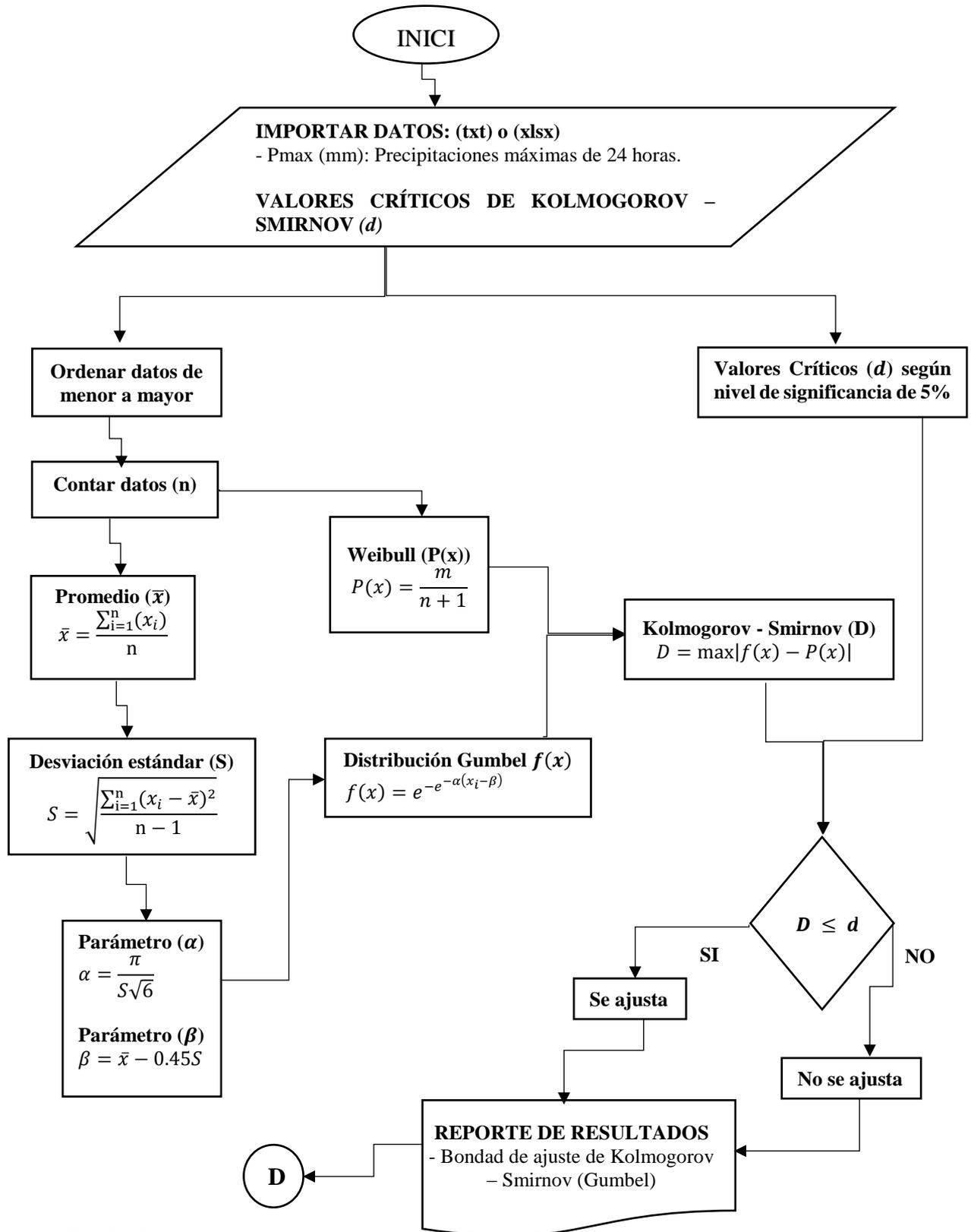
FUENTE: Elaboracion propia

b.3 Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Gumbel)

Para el análisis de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Gumbel), se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Contar datos de numero de cuencas o microcuencas (n).
- Ordenar los datos de precipitaciones máximas de 24 horas (P_{max}) de menor a mayor.
- Calcular el promedio de precipitaciones máximas de 24 horas (\bar{x}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones (S), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Determinar la probabilidad observada o empírica con el método de Weibull $P(x)$. en función del número de datos y posición de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular los parámetros (α) y (β), en función a la desviación estándar, promedio y de las precipitaciones máximas de 24 horas.
- Determinar la función de densidad de probabilidad estimada o teórica Gumbel $f(x)$, en función de desviación estándar y promedio y los datos de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Realizar la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Gumbel), que consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $p(x)$ y la estimada $f(x)$, con un valor crítico (d) según el número de datos y el nivel de significancia; si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución Gumbel de lo contrario rechaza.
- Reportar los resultados de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Gumbel).

Diagrama de flujo: Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Gumbel)



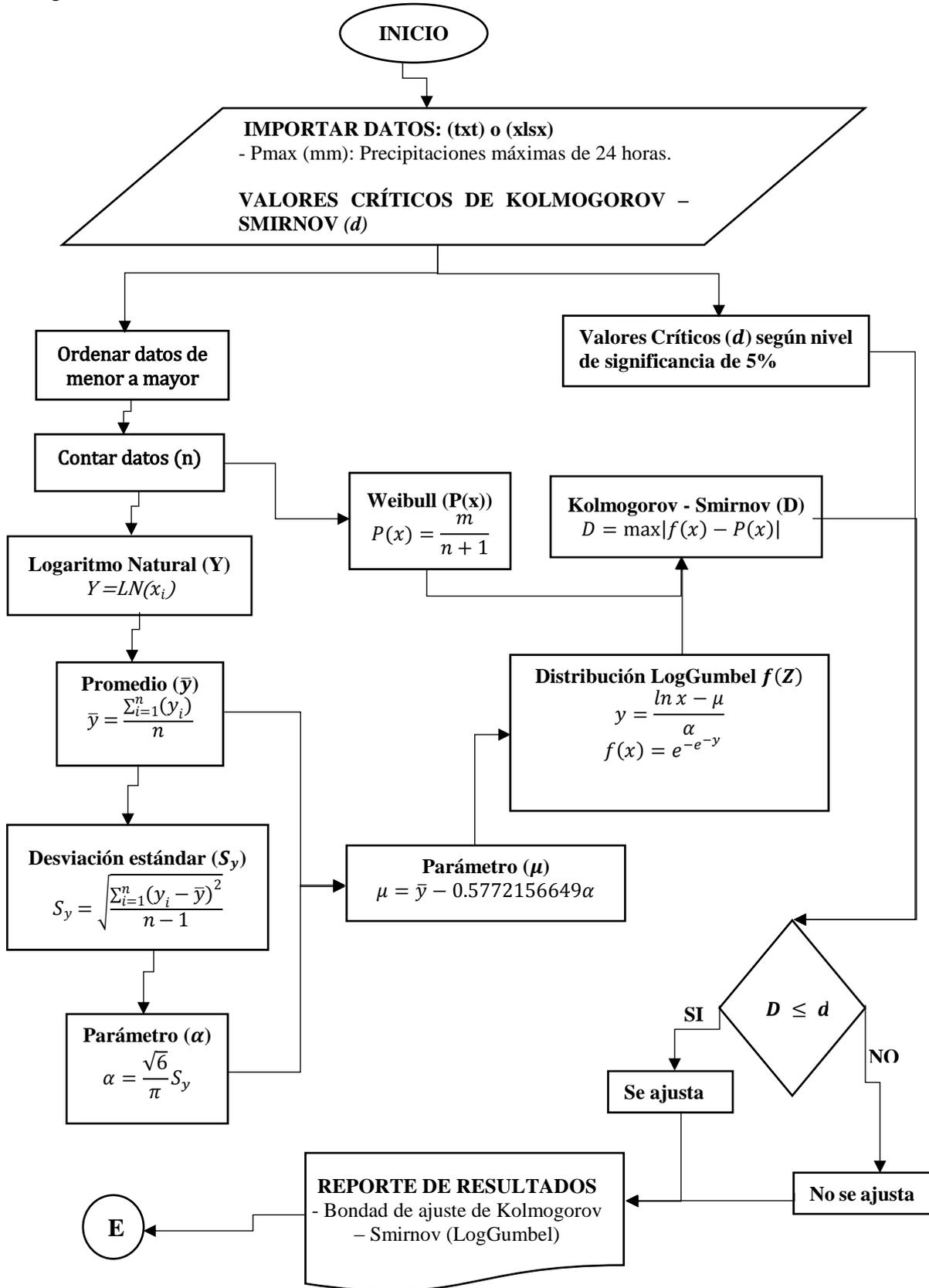
FUENTE: Elaboracion propia

b.4 Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogGumbel)

Para el análisis de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogGumbel) se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Contar datos de numero de cuencas o microcuencas (n).
- Ordenar los datos de precipitaciones máximas de 24 horas (P_{max}) de menor a mayor.
- Transformar las precipitaciones máximas de 24 horas en logaritmos naturales. (Y)
- Calcular el promedio de precipitaciones máximas transformadas (\bar{y}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y)
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones máximas transformadas (S_y), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y).
- Determinar la probabilidad observada o empírica con el método de Weibull $P(x)$. en función del número de datos y posición de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular los parámetros (α) y (μ), en función a la desviación estándar, promedio y de las precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y).
- Determinar la función de densidad de probabilidad estimada o teórica LogGumbel $f(x)$, que está en función de desviación estándar y promedio y los datos de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y).
- Realizar la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogGumbel), que consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $p(x)$ y la estimada $f(x)$, con un valor crítico (d) según el número de datos y el nivel de significancia; si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución LogGumbel de lo contrario rechaza.
- Reportar los resultados de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogGumbel)

Diagrama de flujo: Algoritmo de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogGumbel)



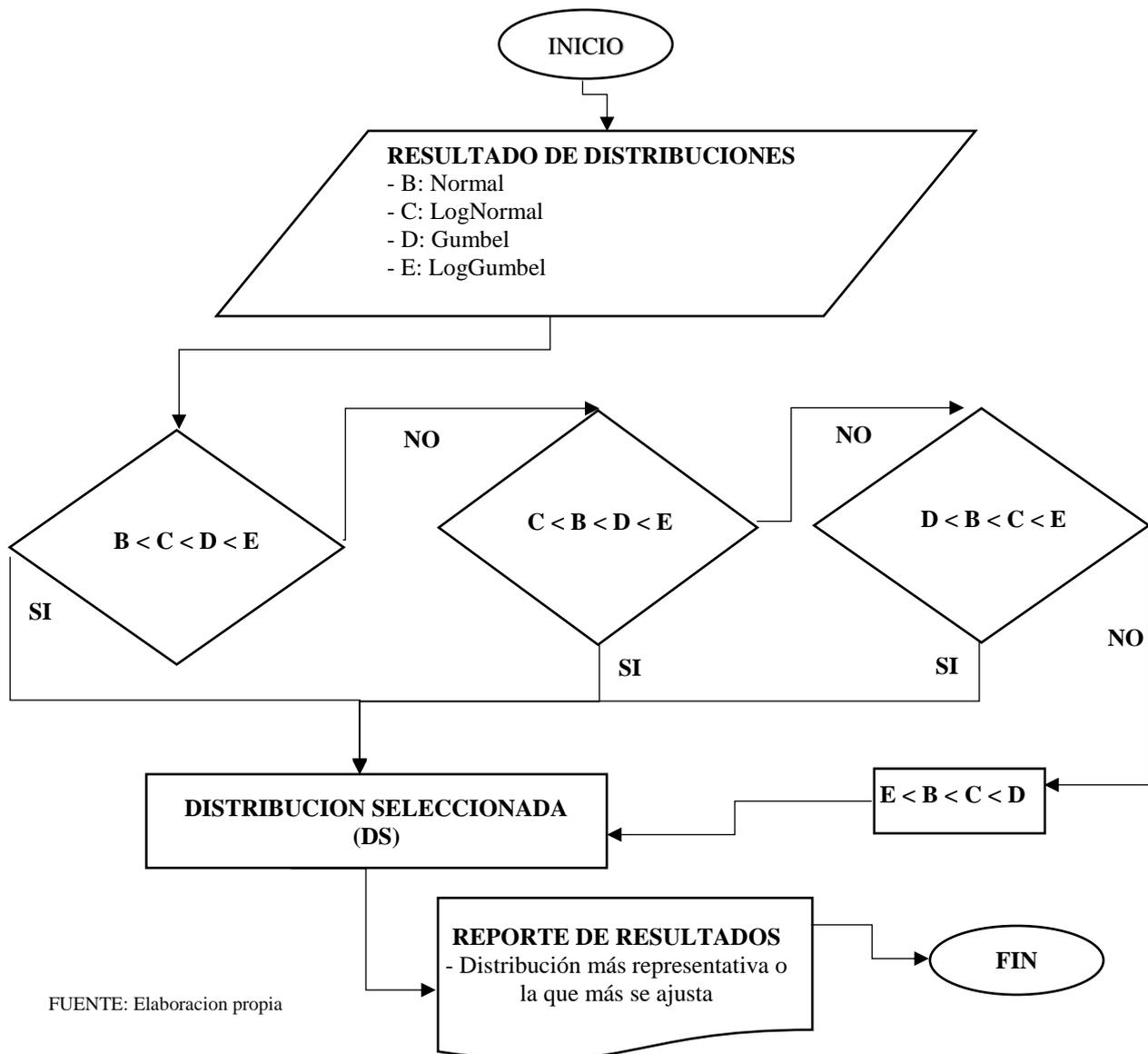
FUENTE: Elaboracion propia

b.5 Algoritmo para selección de la distribución más representativa o la que más se ajusta

Para la selección de la distribución más representativa o la que más se ajusta se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Comparar los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov de las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, y seleccionar la distribución con menor valor, el cual indica la distribución más representativa o la que más se ajusta.
- Reportar el resultado de la distribución más representativa o la que más se ajusta.

Diagrama de flujo: Algoritmo para la selección de la distribución más representativa o la que se ajuste



FUENTE: Elaboracion propia

c) Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno

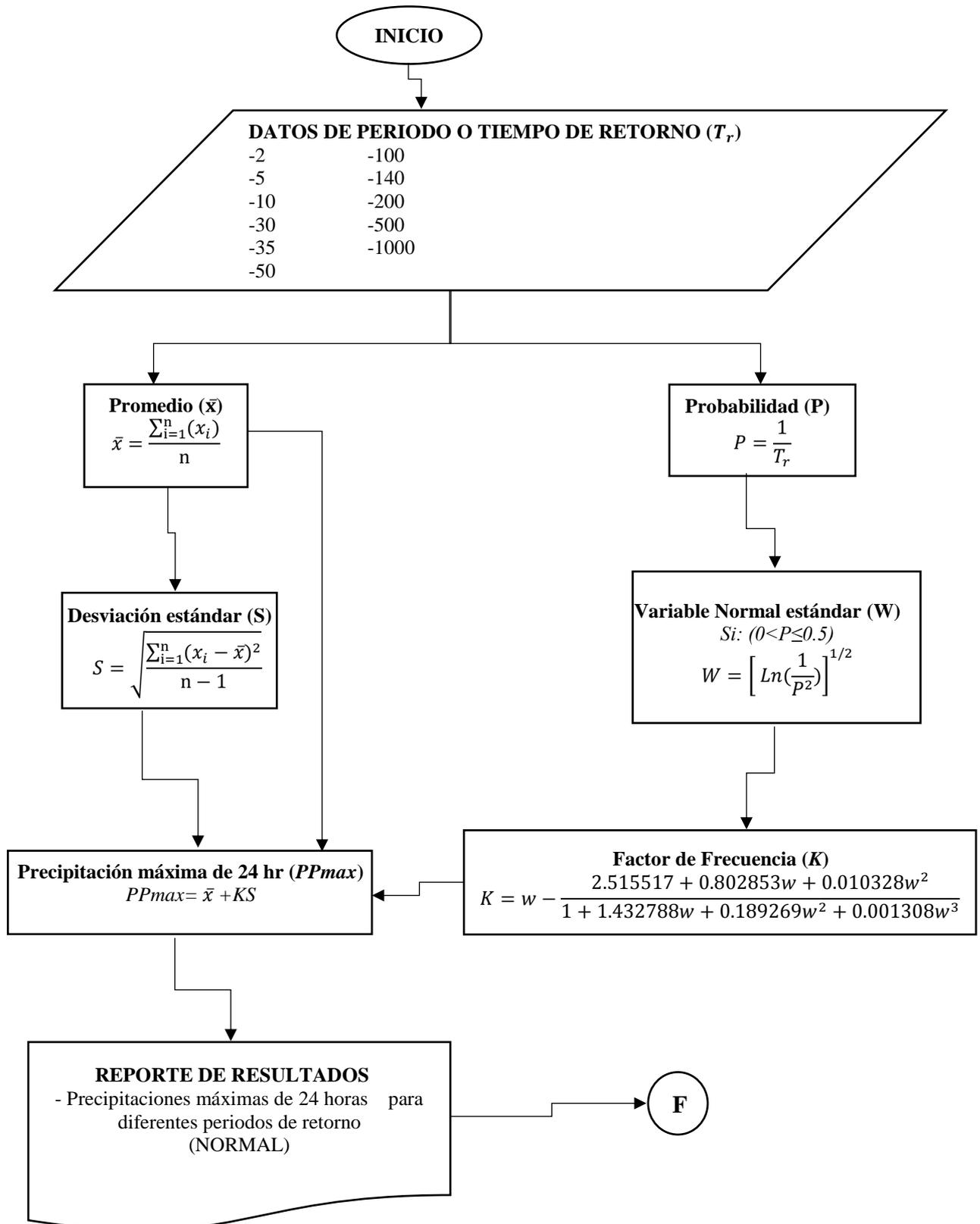
Se desarrolló algoritmos que genere precipitaciones máximas de 24 horas, para diferentes periodos de retorno como: 2 años, 5 años, 10 años, 30 años, 35 años, 50 años, 100 años, 140 años, 200 años, 500 años y 1000 años, usando factores de frecuencia con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, y que seleccione la precipitación más representativa.

c.1) Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución Normal.

Para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución Normal, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Calcular el promedio de precipitaciones máximas de 24 horas (\bar{x}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones (S), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular la probabilidad de ocurrencia (P), en función al periodo de retorno.
- Calcular Variable Normal estándar (W), en función a la probabilidad de ocurrencia.
- Calcular Factor de Frecuencia (K), en función a la Calcular Variable Normal estándar
- Calcular las precipitaciones de 24 horas para diferentes periodos de retorno (PP_{max}), en función al promedio, factor de frecuencia y Desviación estándar.
- Reportar los resultados de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución Normal.

Diagrama de flujo: Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno (Normal)



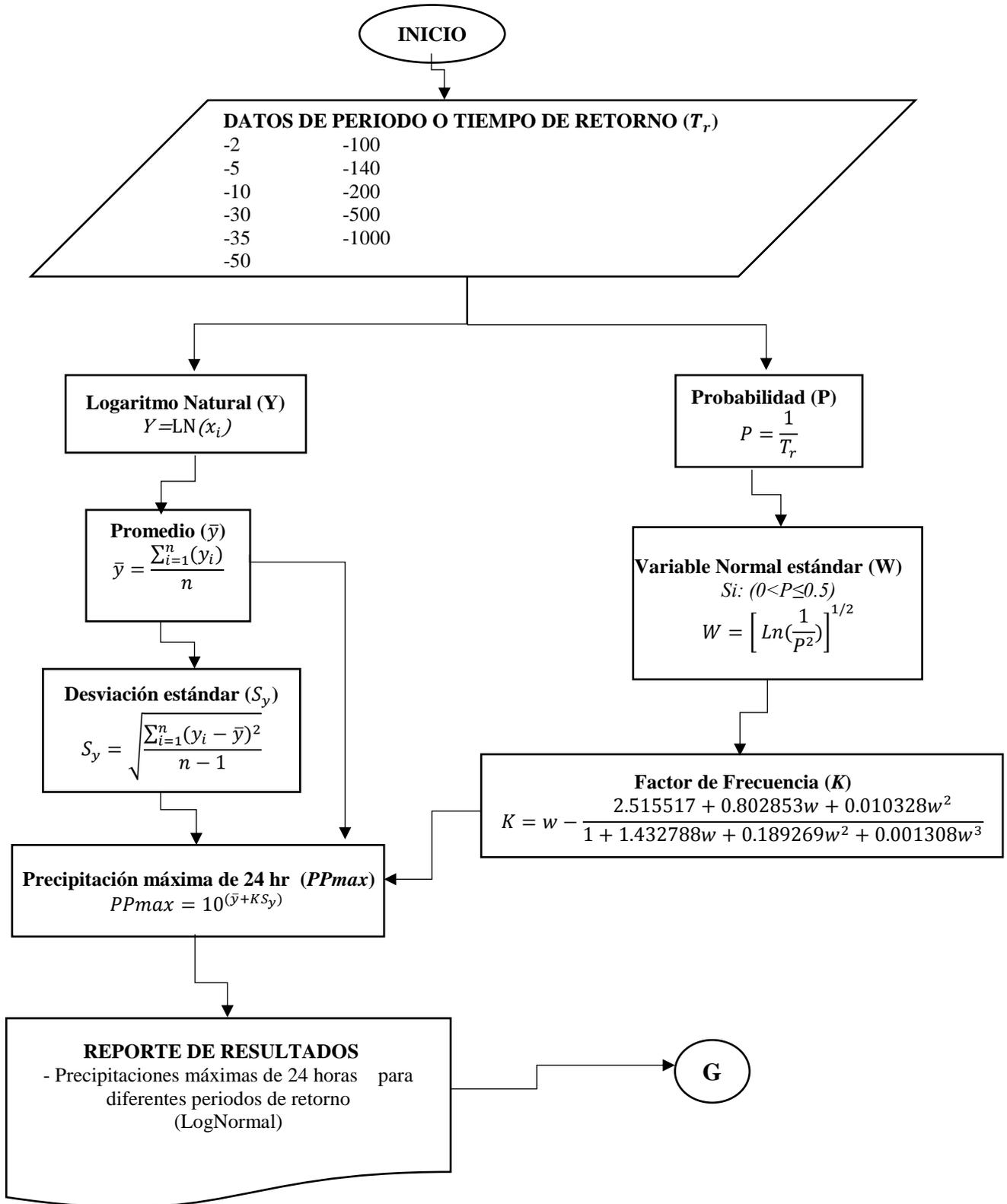
FUENTE: Elaboración propia

c.2) Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución LogNormal.

Para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución LogNormal, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Transformar las precipitaciones máximas de 24 horas en logaritmos naturales. (Y)
- Calcular el promedio de precipitaciones máximas transformadas (\bar{y}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y)
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones máximas transformadas (S_y), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y).
- Calcular la probabilidad de ocurrencia (P), en función al periodo de retorno.
- Calcular Variable Normal estándar (W), en función a la probabilidad de ocurrencia.
- Calcular Factor de Frecuencia (K), en función a la Calcular Variable Normal estándar
- Calcular las precipitaciones de 24 horas para diferentes periodos de retorno (PP_{max}), en función al promedio, factor de frecuencia y Desviación estándar.
- Reportar los resultados de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución LogNormal.

Diagrama de flujo: Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno (LogNormal)



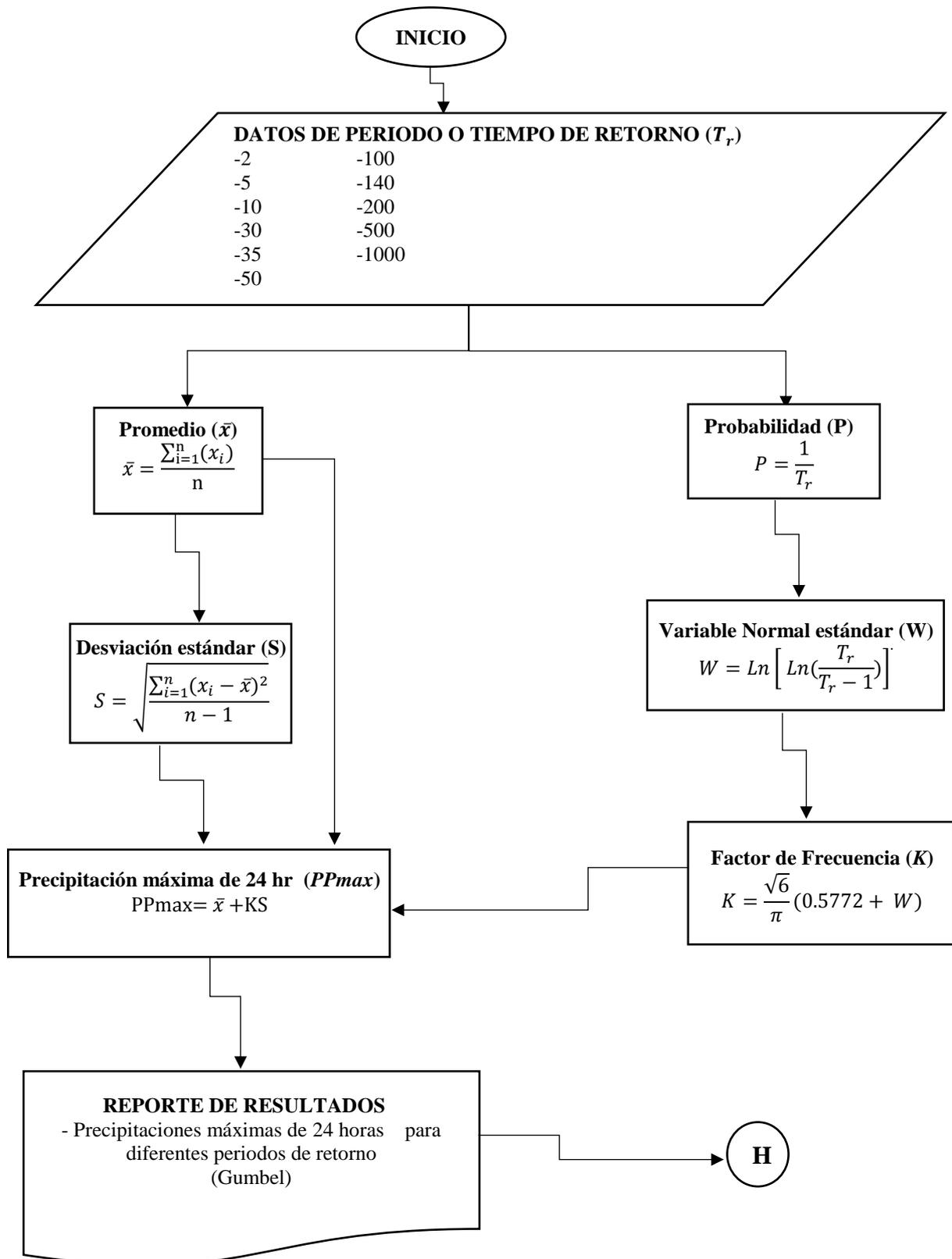
FUENTE: Elaboracion propia

c.3) Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución Gumbel.

Para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución Gumbel, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Calcular el promedio de precipitaciones máximas de 24 horas (\bar{x}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular el Desviación estándar de precipitaciones (S), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Calcular la probabilidad de ocurrencia (P), en función al periodo de retorno.
- Calcular Variable Normal estándar (W), en función a la probabilidad de ocurrencia.
- Calcular Factor de Frecuencia (K), en función a la calcular Variable Normal estándar
- Calcular las precipitaciones de 24 horas para diferentes periodos de retorno (PP_{max}), en función al promedio, factor de frecuencia y desviación estándar.
- Reportar los resultados de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución Gumbel.

Diagrama de flujo: Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno (Gumbel)



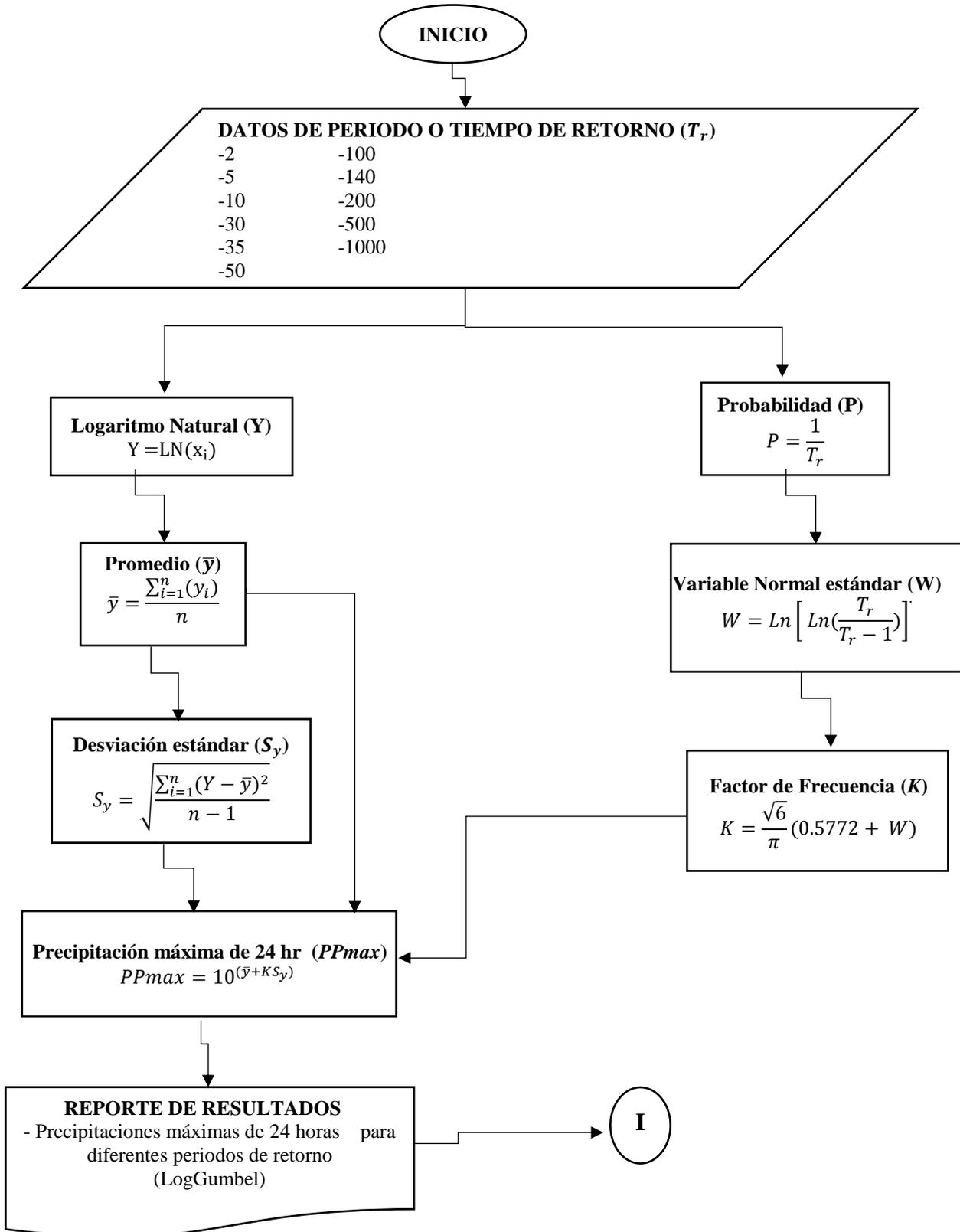
FUENTE: Elaboracion propia

c.4) Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución LogGumbel.

Para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución LogGumbel, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Transformar las precipitaciones máximas de 24 horas en logaritmos naturales. (Y)
- Calcular el promedio de precipitaciones máximas transformadas (\bar{y}), en función del número de datos, y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y)
- Calcular la desviación estándar de precipitaciones máximas transformadas (S_y), en función del número de datos, promedio y valores de precipitaciones máximas de 24 horas transformadas (Y).
- Calcular la probabilidad de ocurrencia (P), en función al periodo de retorno.
- Calcular variable Normal estándar (W), en función a la probabilidad de ocurrencia.
- Calcular factor de frecuencia (K), en función a la variable Normal estándar
- Calcular las precipitaciones de 24 horas para diferentes periodos de retorno (PP_{max}), en función al promedio, factor de frecuencia y desviación estándar.
- Reportar los resultados de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con la distribución LogGumbel.

Diagrama de flujo: Algoritmo para generar precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno (LogGumbel)



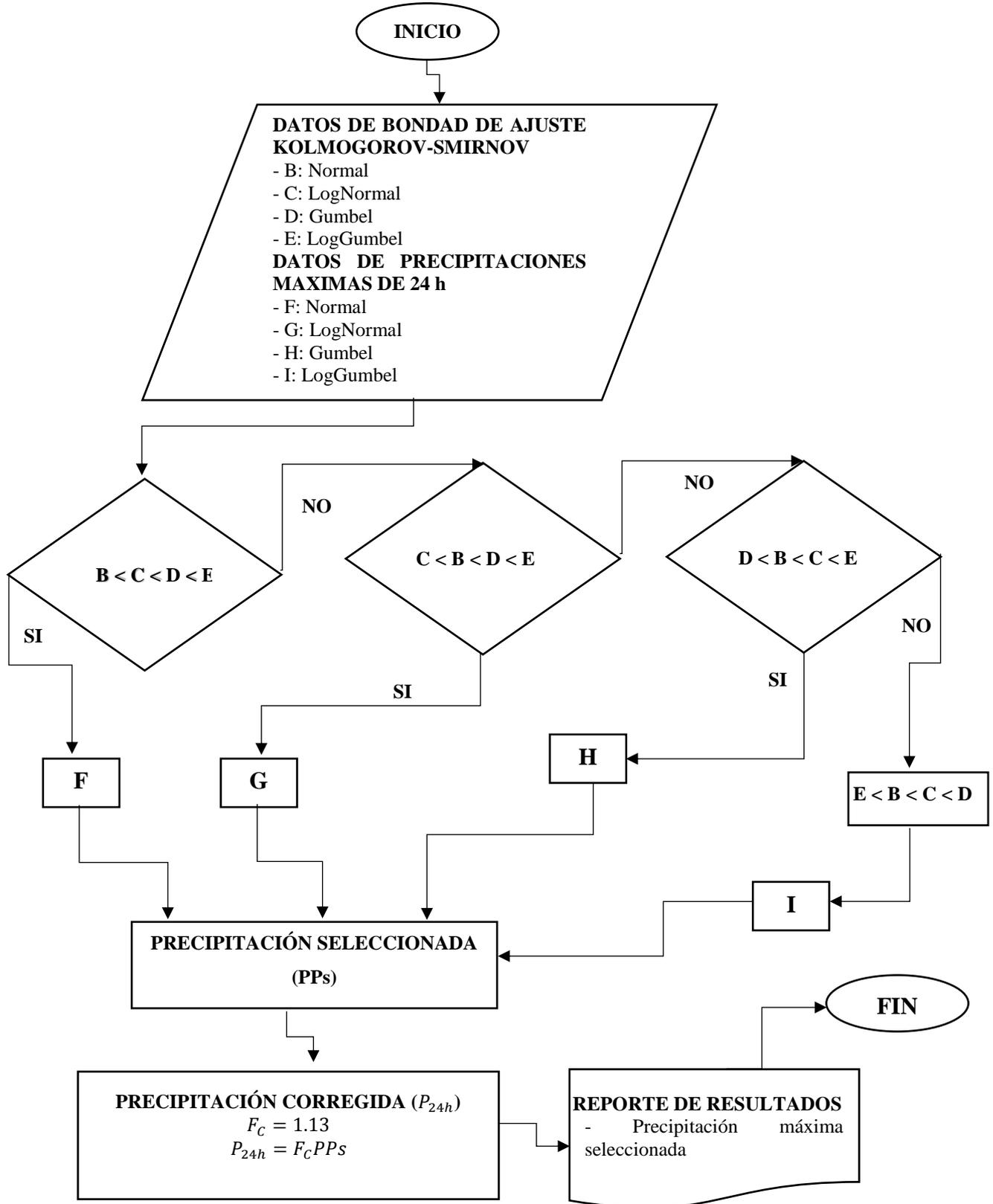
FUENTE: Elaboracion propia

c.5) Algoritmo para selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno

Para la selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Buscar y seleccionar las precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno generada con la distribución más representativa o la que mejor se ajuste de la prueba de Kolmogorov – Smirnov
- Corregir las precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno seleccionada, con un coeficiente de corrección según La Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- Reportar los resultados de las precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno seleccionada y corregida.

Diagrama de flujo: Algoritmo para seleccionar la precipitación máxima



FUENTE: Elaboracion propia

d) Algoritmo para determinar la tormenta de diseño

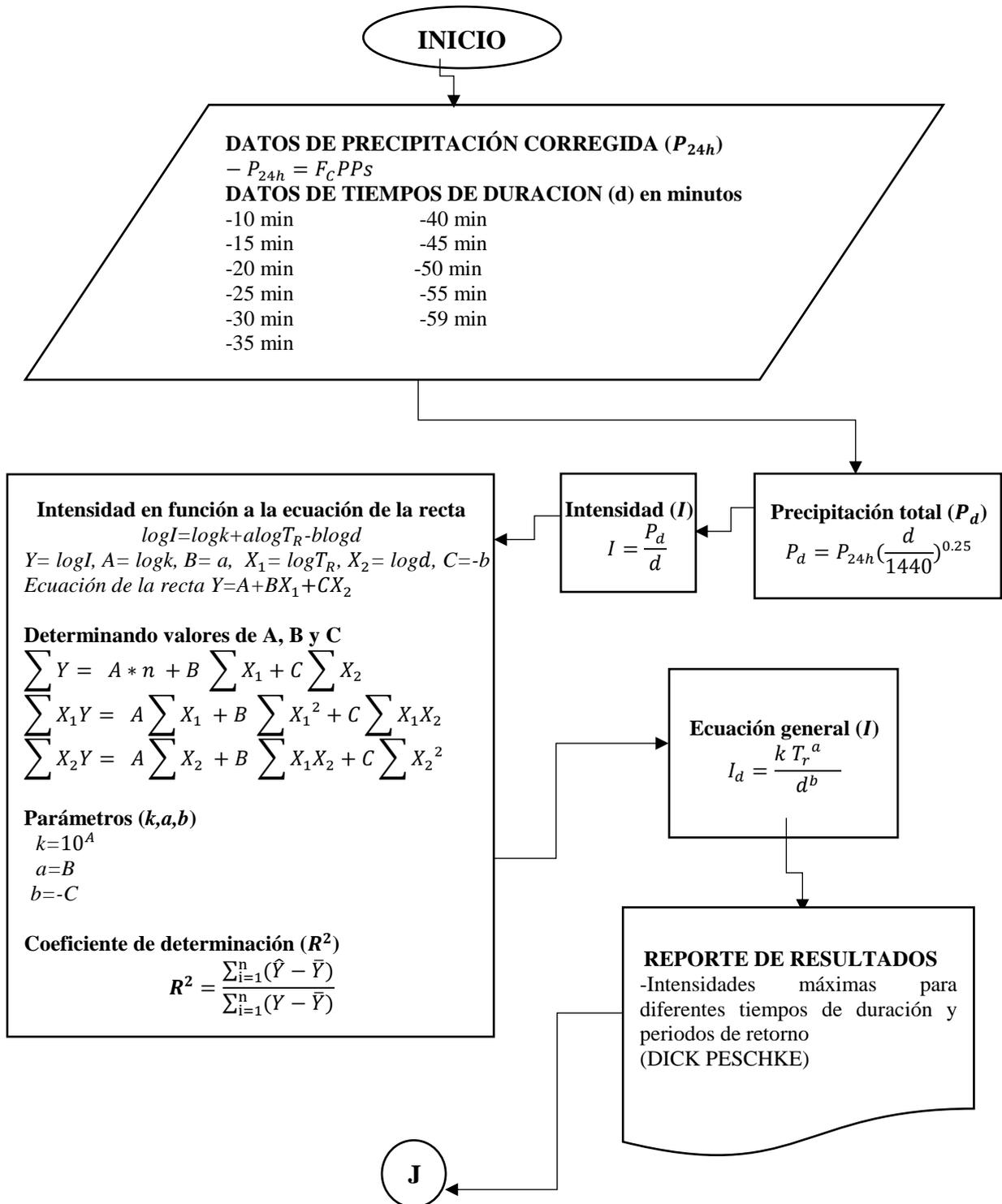
Se desarrolló algoritmos para determinar la tormenta de diseño, curvas I-D-F menores a una hora con él método de Dick Peschke y mayores a una hora con el método de coeficiente de duración como se indica a continuación.

d.1) Algoritmo para determinar las curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke)

Para determinar las curvas I-D-F menores a una hora, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Calcular las precipitaciones totales (P_d) por el método de Dick Peschke, en función a la duración de tormenta de 10 min, 15 min, 20 min, 25min, 30 min, 35 min, 40 min, 45 min, 50 min, 55 min y 59 min.
- Determinar las intensidades máximas (I), en función a las precipitaciones totales y duración de tormenta.
- Expresar las intensidades en función a la ecuación de la recta, de acuerdo a las intensidades máximas, periodo de retorno y duración de tormenta.
- Realizar regresión lineal múltiple de la ecuación de intensidades en función de la recta para determinar parámetros de ecuación general (k,a,b) y coeficiente de determinación (R^2)
- Reportar los resultados de intensidades para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno curvas, y la ecuación general.

Diagrama de flujo: Algoritmo para determinar las curvas I-D-F menores a una hora
(Dick Peschke)



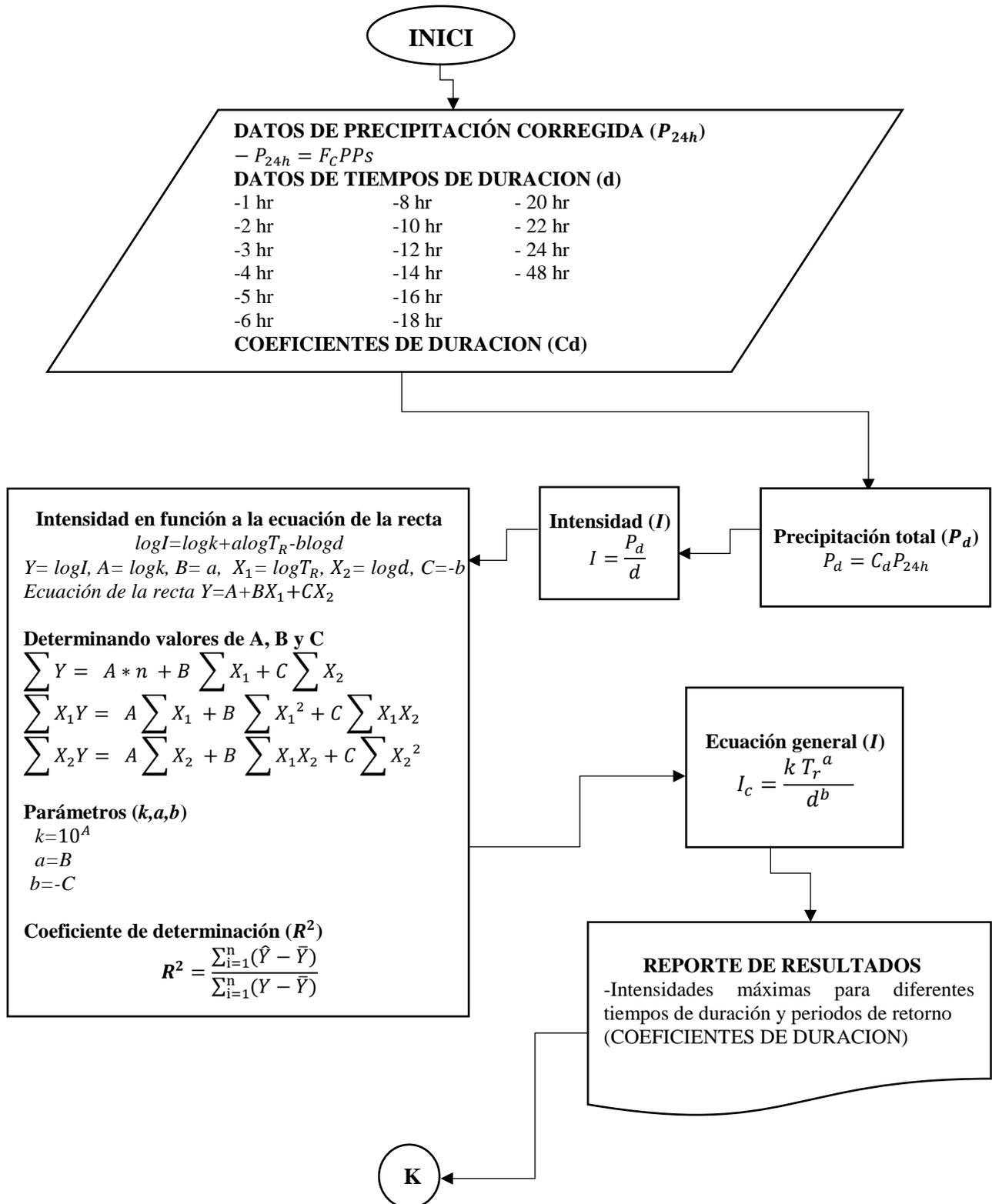
FUENTE: Elaboración propia

d.2) Algoritmo para determinar las curvas I-D-F mayores a una hora (coeficientes de duración)

Para determinar las curvas I-D-F mayores a una hora, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Calcular las precipitaciones totales (P_d) por el método de coeficientes de duración, en función a la duración de tormenta de 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 6 h, 8 h, 10 h, 12 h, 14 h, 16 h, 18 h, 20 h, 22 h, 24 h, 48 h.
- Determinar las intensidades máximas (I), que está en función a las precipitaciones totales y duración de tormenta.
- Expresar las intensidades en función a la ecuación de la recta, de acuerdo a las intensidades máximas, periodo de retorno y duración de tormenta.
- Realizar regresión lineal múltiple de la ecuación de intensidades en función de la recta para determinar parámetros de ecuación general (k, a, b) y coeficiente de determinación (R^2)
- Reportar los resultados de intensidades para diferentes tiempos de duración y diferentes periodos de retorno, y la ecuación general.

Diagrama de flujo: Algoritmo para determinar las curvas I-D-F mayores a una hora
(coeficientes de duración)



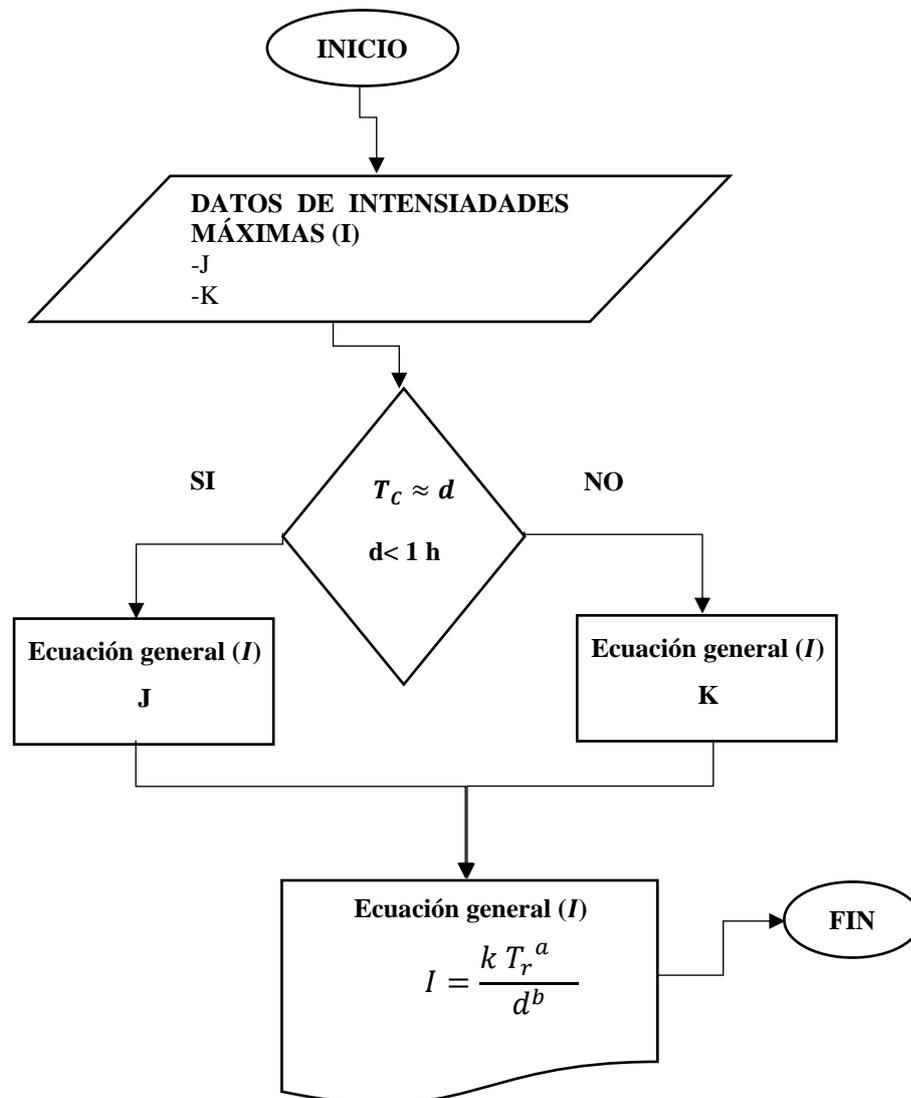
FUENTE: Elaboración propia

d.3) Algoritmo para seleccionar las curvas I-D-F según tiempo de duración de la tormenta

para seleccionar las curvas I-D-F según tiempo de duración de la tormenta, se desarrolló algoritmos que ejecute el siguiente proceso.

- Selecciona la ecuación de intensidades máximas de acuerdo a la duración de tormenta, para tormentas menores a una hora se utiliza la ecuación de intensidad máxima con el método de Dick Peschke, y para mayores a una hora se usa utiliza la ecuación de intensidad máxima determinada con el método de coeficientes de duración.

Diagrama de flujo: Algoritmo para seleccionar las curvas I-D-F según tiempo de duración de la tormenta



FUENTE: Elaboracion propia

2.2.2.3 Algoritmo para calcular caudales máximos

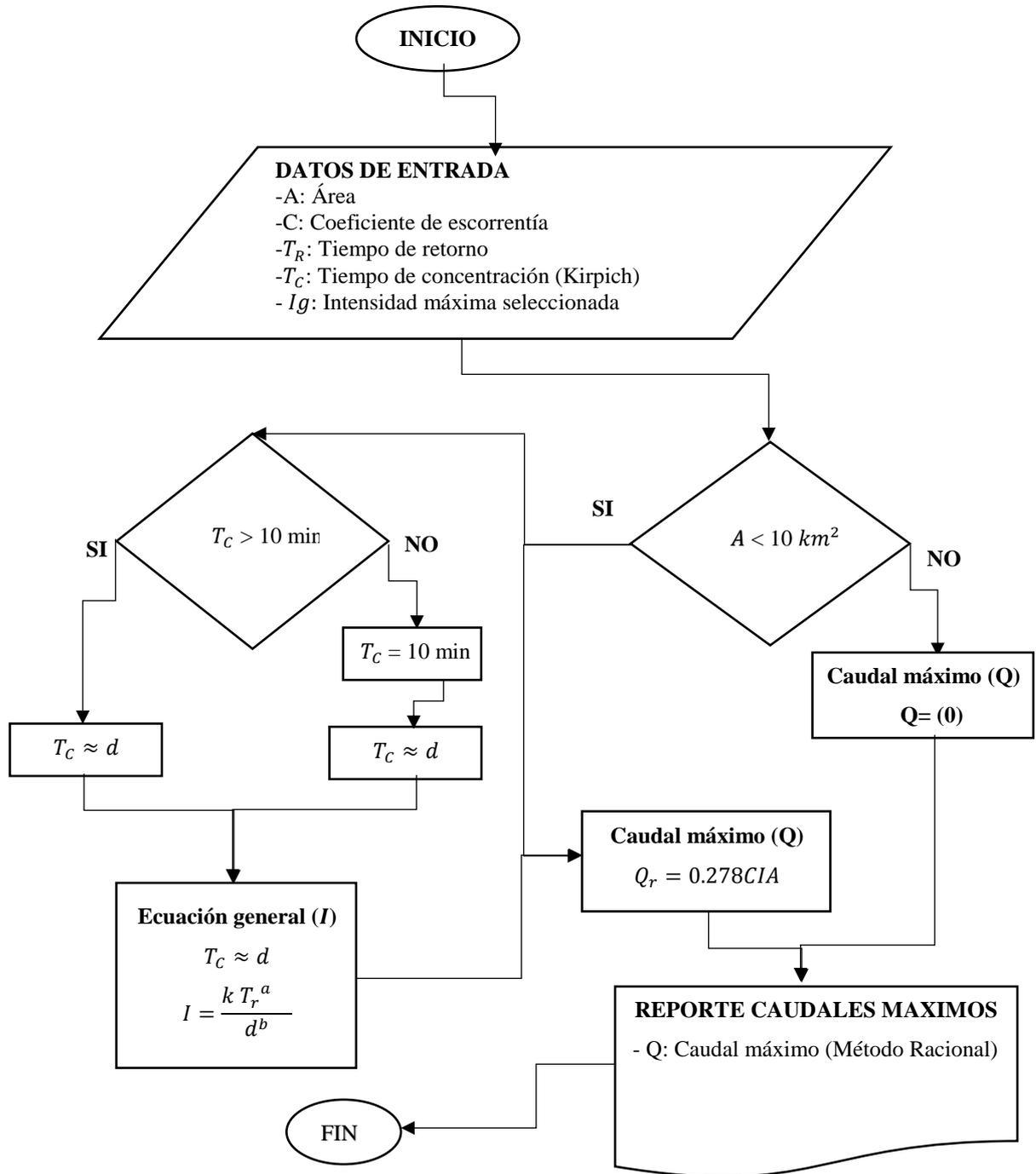
Se desarrolló algoritmos para calcular caudales máximos con el método racional, racional modificado hidrograma unitario triangular SCS como se detalla a continuación.

a) Algoritmo para calcular caudales máximos con el método racional

Para calcular caudales máximos con el método racional, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Identificar áreas menores a 10 km^2 y proceder con el cálculo, en caso contrario asignar al caudal máximo con valor 0.
- Identificar tiempos de concentración en caso de que haya menores a 10 minutos y cambiar a 10 minutos y proceder con el cálculo.
- Calcular la intensidad máxima (I) según ecuación general, que está en función a los parámetros (k,a,b), tiempo de retorno y duración de tormenta.
- Calcular caudales máximos (Q_r), en función al coeficiente de escorrentía, intensidad máxima y área.
- Reportar los resultados caudales máximos con el método racional.

Diagrama de flujo: Algoritmo para calcular caudales máximos con el método racional



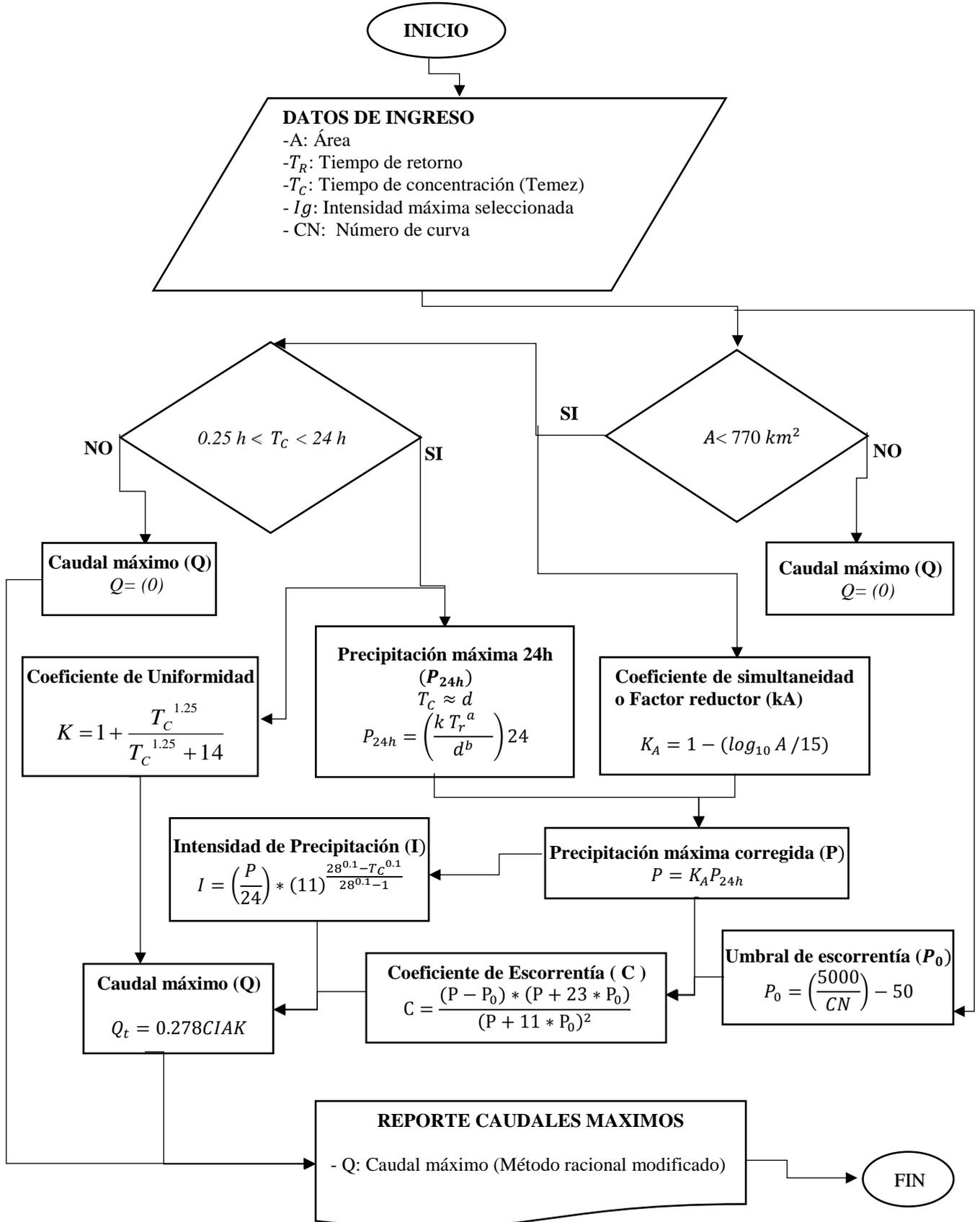
FUENTE: Elaboracion propia

b) Algoritmo para calcular caudales máximos con el método racional modificado o Temez

Para calcular caudales máximos con el método racional modificado o Temez, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Identificar áreas menores a 770 km^2 y proceder con el cálculo, en caso contrario asignar al caudal máximo con valor 0.
- Identificar tiempos de concentración entre 0.25 a 24 horas y proceder con el cálculo, en caso contrario asignar al caudal máximo con valor 0.
- Calcular precipitación máxima 24 horas (P_{24hr}), en función a los parámetros (k,a,b), tiempo de retorno y duración de tormenta.
- Calcular coeficiente de simultaneidad o factor reductor (k_A), en función al área.
- Calcular precipitación máxima corregida (P), en función al coeficiente de simultaneidad o factor reductor y Precipitación máxima 24 horas.
- Calcular Intensidad de Precipitación (I), en función de precipitación máxima corregida y tiempo de concentración.
- Calcular coeficiente de uniformidad (K), en función al tiempo de concentración.
- Calcular umbral de escorrentía (P_o), en función al número de curva.
- Coeficiente de escorrentía (C), en función al umbral de escorrentía y precipitación máxima corregida.
- Calcular caudales máximos (Q_t), en función al coeficiente de escorrentía, intensidad máxima, área y coeficiente de uniformidad.
- Reportar los resultados caudales máximos con el método racional modificado o Temez.

Diagrama de flujo: Algoritmo para calcular caudales máximos con el método racional modificado o Temez



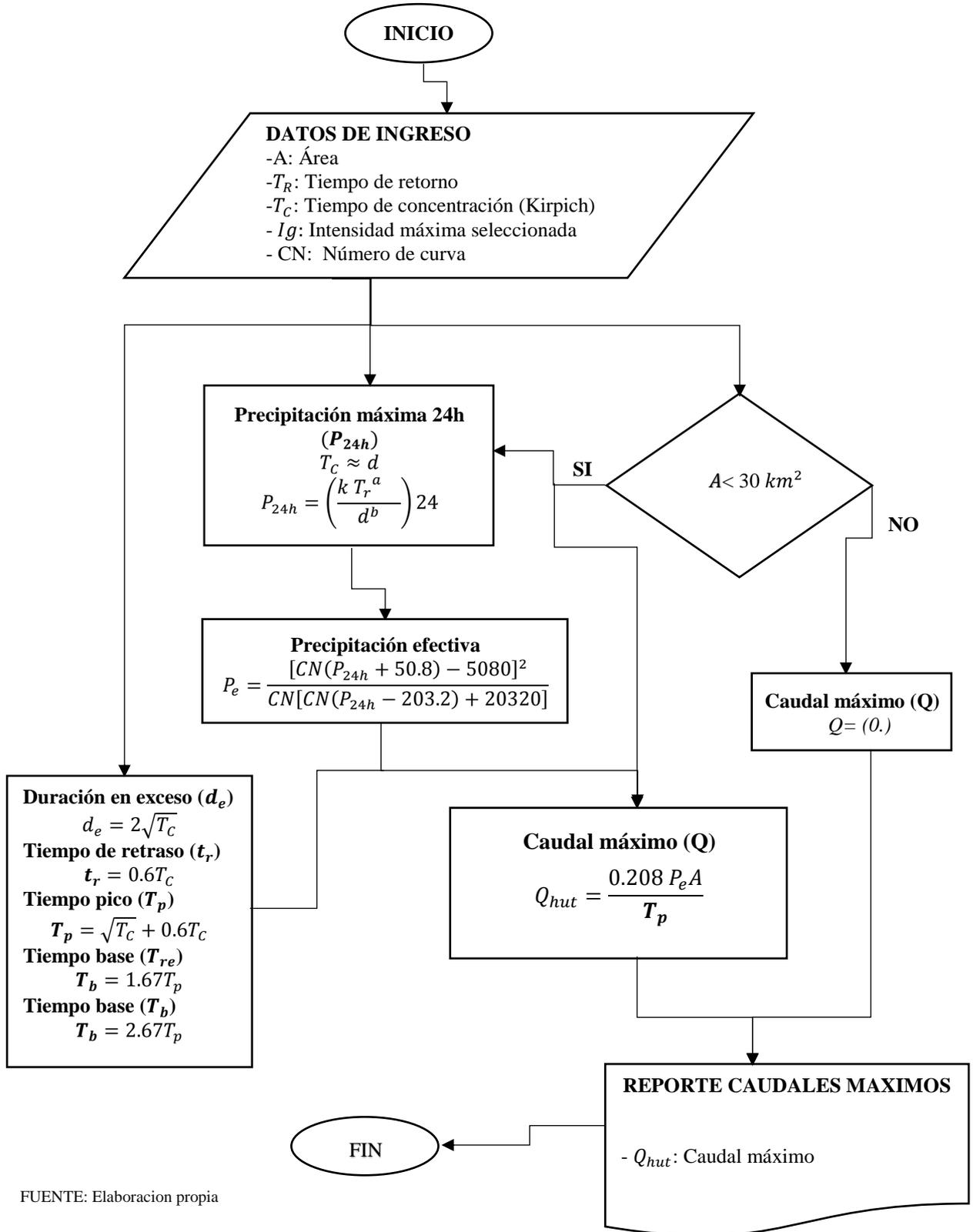
FUENTE: Elaboracion propia

c) Algoritmo para calcular caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS

Para calcular caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS, se desarrolló algoritmos que ejecute los siguientes procesos.

- Identificar áreas menores a 30 km^2 y proceder con el cálculo, en caso contrario asignar al caudal máximo con valor 0.
- Identificar tiempos de concentración en caso de que haya menores a 10 minutos y cambiar a 10 minutos y proceder con el cálculo.
- Calcular coeficiente la precipitación efectiva (P_e), en función al número de curva y precipitación máxima 24 horas.
- Calcular duración en exceso (d_e), en función tiempo de concentración.
- Calcular tiempo de retraso (T_r), en función tiempo de concentración.
- Calcular tiempo pico (T_p), en función tiempo de concentración.
- Calcular tiempo de recisión (T_{re}), en función tiempo de concentración.
- Calcular tiempo pico (T_b), que está en función tiempo pico.
- Calcular caudales máximos (Q_{hut}), en función a precipitación efectiva, área y tiempo pico.
- Reportar los resultados caudales máximos con el método el método hidrograma unitario triangular del SCS.

Diagrama de flujo: Algoritmo para calcular caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS.



FUENTE: Elaboracion propia

2.2.3. Comparación de resultados del programa HYDRETC V1, con hojas de cálculo y softwares afines, para su validación.

Para validar y garantizar la confiabilidad del programa HYDRETC V1, se comparó sus resultados con hojas de cálculo en Microsoft Excel y softwares afines como el Hidroesta.

2.2.3.1 Cálculo de parámetros de cuenca

a) Parámetros geomorfológicos

Para comparar los resultados se realizó las siguientes actividades.

- Se desarrolló hojas de cálculo en Microsoft Excel de parámetros geomorfológicos como: índice de Gravelius (Kc), rectángulo equivalente (L) y (l), factor forma (Fl), pendiente de la Cauce (Sca), pendiente de la Cuenca (Scu), relación de Elongación (Re) y relación de circularidad (Rci), teniendo en cuenta las ecuaciones de cada uno de estos parámetros indicadas en el marco teórico y hojas de cálculo existentes.
- Se calculó los parámetros geomorfológicos con el programa HYDRETC V1, y hojas de cálculo en Microsoft Excel teniendo la misma base de datos de características físicas de microcuencas.
- Se comparó los resultados obtenidos del programa HYDRETC V1, con hojas de cálculo en Microsoft Excel.

b) Tiempos de concentración

Para comparar los resultados de tiempos de concentración se realizó las siguientes actividades.

- Se desarrolló hojas de cálculo en Microsoft Excel de tiempos de concentración con el método Kirpich y Temez, teniendo en cuenta las ecuaciones indicadas en el marco teórico y hojas de cálculo existentes.
- Se calculó los tiempos de concentración con el programa HYDRETC V1, y hojas de cálculo teniendo la misma base de datos de características físicas de microcuencas.
- Se comparó los resultados obtenidos del programa HYDRETC V1, con hojas de cálculo en Microsoft Excel.

2.2.3.2 Análisis estadísticos de datos hidrológicos

a) Prueba de datos dudosos con el método de Water Resources Council

Para comparar los resultados de análisis de datos dudosos se realizó las siguientes actividades.

- Se desarrolló hojas de cálculo en Microsoft Excel de análisis de datos dudosos con el método de Water Resources Council, teniendo en cuenta las ecuaciones indicadas en el marco teórico y hojas de cálculo existentes.
- Se realizó análisis de datos dudosos con el método de Water Resources Council, con el programa HYDRETC V1, y hojas de cálculo teniendo la misma base de datos de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Se comparó los resultados de los análisis de datos dudosos obtenidos del programa HYDRETC V1, con hojas de cálculo en Microsoft Excel.

b) Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Para comparar los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov se realizó las siguientes actividades.

- Se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov, con el programa HYDRETC V1, y el programa Hidroesta teniendo la misma base de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Se comparó los resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov, del programa HYDRETC V1, y del programa Hidroesta.

c) Generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno

Para comparar los resultados precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno se realizó las siguientes actividades.

- Se generó las precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con el programa HYDRETC V1, y el programa Hidroesta teniendo la misma base de precipitaciones máximas de 24 horas.

- Se comparó los resultados de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno, del programa HYDRETC V1, y el programa Hidroesta.

d) Cálculo de tormenta de diseño curvas I-D-F

Para comparar los resultados de las curvas I-D-F se realizó las siguientes actividades.

- Se desarrolló hojas de cálculo en Microsoft Excel de las curvas I-D-F para tormentas menores a una hora con el método de Dick Peschke y mayores a una hora con el método de coeficiente de duración, según las ecuaciones indicadas en el marco teórico, resultados de hojas de cálculo existentes y la correlación lineal múltiple para los parámetros de la ecuación general con el programa Hidroesta.
- Se calculó las curvas I-D-F para tormentas menores a una hora con el método de Dick Peschke y mayores a una hora con el método de coeficiente de duración, con el programa HYDRETC V1, y hojas de cálculo en Microsoft Excel.
- Se comparó los resultados de las curvas I-D-F para tormentas menores a una hora con el método de Dick Peschke y mayores a una hora con el método de coeficiente de duración, del programa HYDRETC V1 con hojas de cálculo en Microsoft Excel.

2.2.3.3 Cálculo de caudales máximos

Para comparar los resultados caudales máximos, se realizó las siguientes actividades.

- Se desarrolló hojas de cálculo en Microsoft Excel de caudales máximos, con el método de racional, racional modificado e hidrograma unitario triangular del SCS, según las ecuaciones indicadas en el marco teórico, resultados de hojas de cálculo existentes.
- Se calculó los caudales máximos, con el método de racional, racional modificado e hidrograma unitario triangular del SCS, con el programa HYDRETC V1 y hojas de cálculo en Microsoft Excel.
- Se comparó los resultados de los caudales máximos, con el método de racional, racional modificado e hidrograma unitario triangular del SCS, del programa HYDRETC V1 con hojas de cálculo en Microsoft Excel y del programa Hidroesta.

2.2.4. Elaborar una interfaz gráfica funcional y conciso del programa HYDRETC V1

Para facilitar el manejo del programa al usuario, se elaboró una interfaz gráfica funcional y conciso en MATLAB, el cual está conformado con herramientas básicas para importar, procesar, exportar y reportar un informe preliminar, además cuenta con ventanas visuales para observar los procesos de cálculo como se menciona a continuación.

- Ventana de datos generales está diseñado para agregar datos como: nombre del proyecto, ubicación política (departamento, provincia, distrito, localidad y tramo a evaluarse) y ubicación UTM (este, norte y altitud).
- Ventana de datos de entrada consta de 02 sub-ventanas que sirve para importar y procesar los datos de características físicas de microcuencas como: cuenca, ubicación (Prog), área (A), perímetro(P), longitud de cauce (Lca), cota mayor de cauce (Cmca), cota mayor de cuenca (Cmca), cota de salida (Cs), coeficiente de escorrentía (C), numero de curva (CN), Periodo de retorno (T_r) y de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax).
- Ventana de parámetros de cuenca consta de 02 sub-ventanas para visualizar los resultados de parámetros geomorfológicos como: índice de Gravelius (Kc), rectángulo equivalente (L) y (l), factor forma (FI), pendiente de la cauce (Sca), pendiente de la cuenca (Scu), relación de elongación (Re) y relación de circularidad (Rci) y tiempos de concentración con los métodos de Kirpich y Temez, además cuenta con una opción para exportar datos a Microsoft Excel.
- Ventana de análisis estadísticos de datos hidrológicos de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax) que consta de 05 sub-ventanas para visualizar los gráficos y resultados de prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov con las distribuciones Normal, Log Normal, Gumbel y LogGumbel, generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno con las distribuciones Normal, Log Normal, Gumbel y LogGumbel, Cálculo de tormenta de diseño curvas I-D-F, con los métodos de Dick Peschke y coeficientes de duración, además cuenta con una opción para exportar datos a Microsoft Excel.
- Ventana de caudales máximos que consta de 03 sub-ventanas para visualizar los resultados de cálculo de caudales máximos, con los métodos el método de racional,

racional modificado e hidrograma unitario triangular del SCS además cuenta con una opción para exportar datos a Microsoft Excel.

- Ventana de resumen sirve para visualizar el resumen general de los caudales máximos, número de cuencas procesadas, numero de datos de registro de precipitaciones máximos de 24 horas, limite máxima y mínima aceptada de la prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council, distribución más representativa o la más se ajusta de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, opción para reportar informe y su con respectivo anexo en tablas en Microsoft Excel.
- Ventana de ayuda que muestra un manual de usuario del programa.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de formulación y vinculación de algoritmos en MATLAB, para optimizar el tiempo de cálculo hidrológico de drenaje transversal en carreteras

Para visualizar los resultados del programa HYDRETC V1, se realizó un ejemplo de aplicación con los datos de características físicas de las microcuencas, C, NC y Tr, de la Tabla 3.1 y de las precipitaciones máximas de 24 horas de la Tabla 3.2.

3.1.1. Parámetros de cuenca

a) Parámetros geomorfológicos

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de parámetros geomorfológicos como: índice de Gravelius (Kc), rectángulo equivalente (L) y (l), factor forma (Fl), pendiente de cauce (Sca), pendiente de la cuenca (Scu), relación de elongación (Re) y relación de circularidad (Rci). se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Parámetros geomorfológicos

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Re	Rci
P-01	0+220	1.53	6.769	1.543	2.847	0.537	0.189	0.255	0.232	0.49	0.42
A-01	0+340	0.068	1.164	1.259	0.42	0.162	0.385	0.303	0.209	0.7	0.631
A-02	0+405	0.131	1.888	1.471	0.775	0.169	0.218	0.18	0.15	0.527	0.462
A-03	0+460	0.049	1.101	1.403	0.439	0.112	0.254	0.267	0.187	0.569	0.508
A-04	1+240	0.125	1.844	1.471	0.757	0.165	0.218	0.224	0.105	0.527	0.462
A-05	1+340	0.014	0.643	1.532	0.27	0.052	0.193	0.161	0.111	0.495	0.426
A-06	1+490	0.044	0.956	1.285	0.354	0.124	0.352	0.227	0.245	0.669	0.605
A-07	1+600	0.068	1.381	1.493	0.572	0.119	0.208	0.242	0.157	0.515	0.448
A-08	1+690	0.158	1.75	1.242	0.62	0.255	0.411	0.189	0.185	0.723	0.648

Los valores mostrados en la Tabla 3.1 de parámetros geomorfológicos, según Gamez (2010) “intentan reflejar las características de la cuenca en cuanto a su forma y la influencia en la respuesta a las precipitaciones”, como índice de Gravelius (Kc) que permite determinar tipos o clases de cada microcuenca aportante al sistema de drenaje, y además menciona que “este coeficiente Kc será mayor o igual a 1, de manera que, entre más próximo a la unidad, la forma

de la cuenca se aproximará más a la de un círculo. Es decir, si el índice de compacidad presenta valores mayores que la unidad, la cuenca será alargada y tendrá forma circular a medida que el índice de compacidad se aproxime a la unidad”. Por otro lado, Villón (2002) menciona los resultados del rectángulo equivalente, nos “permite representar a la cuenca de su forma heterogénea. con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro y además menciona que que la pendiente de una cuenca es el parámetro más importante porque tiene una relación directa con la infiltración. la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía”. Asimismo, Mejía (2006) menciona que el resultado de factor forma bajo, está, menos sujeta a inundaciones que otra mayor de igual tamaño. También Cahuana & Yugar (2009), señala que la relación de elongación “varía entre 0.40 y 1.00 cuenca con amplia variedad de climas y geologías. Además, está fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde R_e que varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno y además menciona que la relación de circularidad igual a 1 indica que la cuenca es circular y si $R_{ci}=0.785$, la cuenca es cuadrada”. Teniendo los resultados de parámetros geomorfológicos en la tabla 3.1 y las definiciones de cada uno de ellos se determina el comportamiento de cada microcuenca.

El programa HYDRETC V1, realiza el cálculo de parámetros geomorfológicos de microcuencas de forma sistemática, facilitando la evaluación de cada microcuenca aportante al sistema de drenaje, como se muestran en la Tabla 3.1.

b) Tiempo de concentración

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de tiempos de concentración con los métodos de Kirpich y Temez, se muestran en la Tabla 3.2

Tabla 3.2: Tiempo de concentración

Cuenca	Prog (km)	Lca (km)	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Kirpich (min)	Kirpich (h)	Temez (min)	Temez (h)
P-01	0+220	2.556	0.255	0.232	13.847	0.231	47.602	0.793
A-01	0+340	0.277	0.303	0.209	2.342	0.039	8.512	0.142
A-02	0+405	0.54	0.18	0.15	4.79	0.08	15.616	0.26
A-03	0+460	0.285	0.267	0.187	2.515	0.042	8.912	0.149
A-04	1+240	0.333	0.224	0.105	3.034	0.051	10.373	0.173
A-05	1+340	0.149	0.161	0.111	1.854	0.031	5.992	0.1
A-06	1+490	0.341	0.227	0.245	3.071	0.051	10.53	0.175
A-07	1+600	0.343	0.242	0.157	3.012	0.05	10.451	0.174
A-08	1+690	0.52	0.189	0.185	4.559	0.076	15.022	0.25

Los valores mostrados de tiempo de concentración en la Tabla 3.2 según Pérez & Rodríguez (2009), indica el “período de tiempo necesario para que el escurrimiento de una tormenta fluya desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje a la salida de la misma”. Los valores inferiores a 10 minutos serán reemplazados para posteriores cálculos con 10 minutos según NORMA OS.060 (2021) donde menciona que en ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos.

El programa HYDRETC V1, realiza el cálculo de tiempos de concentración con los métodos Kirpich y Temez de forma sistemática, para cada uno de las microcuencas aportantes al sistema de drenaje, como se muestran en la Tabla 3.2.

3.1.2. Análisis estadísticos de datos hidrológicos

a) Prueba de datos dudosos método de Water Resources Council)

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de análisis de datos dudosos método de Water Resources Council, se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Prueba de datos dudosos método de Water Resources Council

Nro	Año	Pmax (mm)	log (pmax)	Condición
1	1964	60	1.778	confiable
2	1965	44.9	1.652	confiable
3	1966	55	1.74	confiable
4	1967	61.3	1.787	confiable
5	1968	61.3	1.787	confiable
6	1969	57	1.756	confiable
7	1970	60.3	1.78	confiable
8	1971	56.4	1.751	confiable
9	1972	85.2	1.93	confiable
10	1973	68	1.833	confiable
11	1974	96.2	1.983	confiable
12	1975	85.4	1.931	confiable
13	1976	61.6	1.79	confiable
14	1977	78.2	1.893	confiable
15	1978	84	1.924	confiable
16	1979	42.3	1.626	confiable
17	1980	40.1	1.603	confiable
18	1981	48.9	1.689	confiable
19	1982	41.9	1.622	confiable
20	1983	41.2	1.615	confiable
21	1984	42.9	1.632	confiable
22	1985	38.9	1.59	confiable
23	1986	89.1	1.95	confiable
24	1987	82.2	1.915	confiable
25	1988	44	1.643	confiable
26	1989	68	1.833	confiable
27	1990	56	1.748	confiable
28	1991	43.5	1.638	confiable

Precipitación máxima aceptada (Ph)

Ph =118.3707 mm

Precipitación mínima aceptada (Pl)

Pl =28.6422 mm

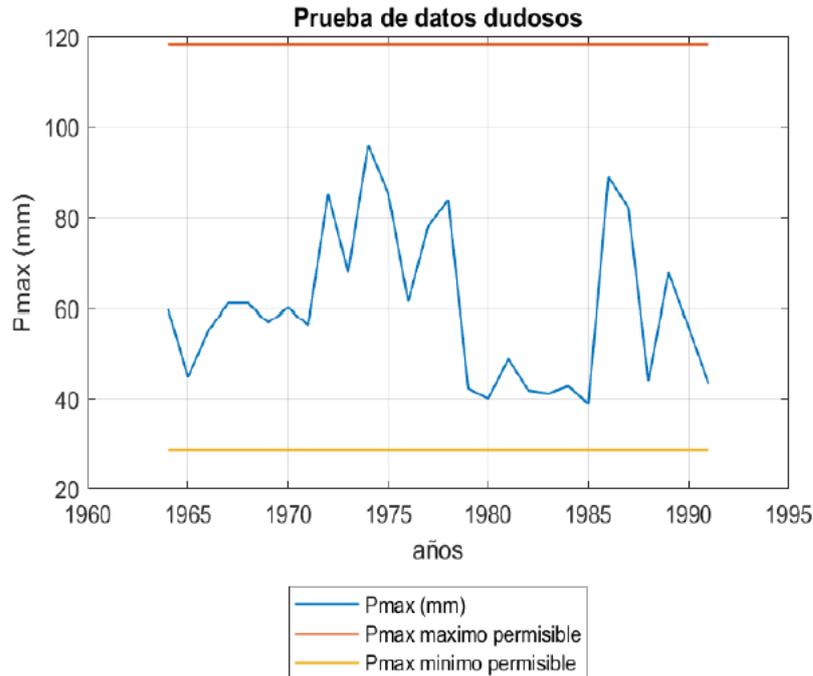


Figura 3.1: Grafico de prueba de datos dudosos método de Water Resources Council

Los resultados mostrados en la Tabla 3.3 de la prueba de datos dudosos sirve para evaluar los datos de precipitaciones máximas en función a los límites máximas y mínimas aceptadas, según Chow, Maidment, & Mays (1994) menciona que “los datos dudosos (outliers) son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante , para lo cual deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos”.

El programa HYDRETC V1, realiza el análisis de datos dudosos método de Water Resources Council, donde identifica si los datos están dentro del límites permisible y le atribuye la condición de confiable y en caso contrario de atípico como se muestran en la Tabla 3.3, además muestra un gráfico en función a los límites permisibles y de precipitaciones máximas y mínimas aceptables que facilita la interpretación de los datos, como se muestra en la Figura 3.1.

b) Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov. se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Nro	Pmax (mm)	Px	Normal (Fx)	Normal (D)	LogNormal (Fx)	LogNormal (D)	Gumbel (Fx)	Gumbel (D)	LogGumbel (Fx)	LogGumbel (D)
1	38.9	0.034	0.105	0.071	0.075	0.04	0.061	0.027	0.028	0.006
2	40.1	0.069	0.119	0.05	0.091	0.022	0.078	0.009	0.045	0.024
3	41.2	0.103	0.132	0.028	0.108	0.005	0.095	0.009	0.065	0.039
4	41.9	0.138	0.141	0.003	0.12	0.018	0.107	0.031	0.079	0.059
5	42.3	0.172	0.146	0.027	0.127	0.046	0.114	0.058	0.088	0.084
6	42.9	0.207	0.154	0.053	0.138	0.069	0.125	0.082	0.103	0.104
7	43.5	0.241	0.162	0.079	0.149	0.093	0.137	0.104	0.118	0.123
8	44	0.276	0.17	0.106	0.158	0.117	0.148	0.128	0.132	0.144
9	44.9	0.31	0.183	0.127	0.177	0.134	0.167	0.143	0.158	0.153
10	48.9	0.345	0.251	0.094	0.266	0.078	0.265	0.08	0.287	0.058
11	55	0.379	0.375	0.004	0.419	0.04	0.43	0.05	0.482	0.103
12	56	0.414	0.397	0.017	0.445	0.031	0.456	0.043	0.511	0.097
13	56.4	0.448	0.406	0.042	0.455	0.006	0.467	0.019	0.522	0.074
14	57	0.483	0.42	0.063	0.47	0.013	0.483	0	0.538	0.056
15	60	0.517	0.489	0.029	0.543	0.025	0.559	0.041	0.613	0.096
16	60.3	0.552	0.496	0.056	0.55	0.002	0.566	0.014	0.62	0.068
17	61.3	0.586	0.519	0.068	0.573	0.013	0.589	0.003	0.642	0.056
18	61.3	0.621	0.519	0.102	0.573	0.048	0.589	0.031	0.642	0.021
19	61.6	0.655	0.526	0.13	0.58	0.075	0.596	0.059	0.648	0.007
20	68	0.69	0.668	0.021	0.71	0.021	0.725	0.036	0.759	0.069
21	68	0.724	0.668	0.056	0.71	0.014	0.725	0.001	0.759	0.035
22	78.2	0.759	0.848	0.089	0.854	0.095	0.86	0.102	0.865	0.106
23	82.2	0.793	0.896	0.103	0.891	0.098	0.894	0.101	0.891	0.098
24	84	0.828	0.914	0.086	0.905	0.077	0.907	0.079	0.901	0.073
25	85.2	0.862	0.924	0.062	0.913	0.051	0.914	0.052	0.906	0.044
26	85.4	0.897	0.926	0.029	0.914	0.018	0.916	0.019	0.907	0.011
27	89.1	0.931	0.951	0.02	0.936	0.005	0.935	0.004	0.923	0.008
28	96.2	0.966	0.981	0.015	0.964	0.002	0.961	0.004	0.945	0.02

Evaluación de datos de Kolmogorov-Smirnov

Nivel de significancia =5%

delta tabular (d) = 0.25702

delta Normal (D) = 0.12959 Se ajusta

delta LogNormal (D) = 0.13373 Se ajusta

delta Gumbel (D) = 0.14336Se ajusta

delta LogGumbel (D) = 0.15259 Se ajusta.

Distribución más representativa o la que más se ajusta

Distribución más representativa o la que más se ajusta =Normal

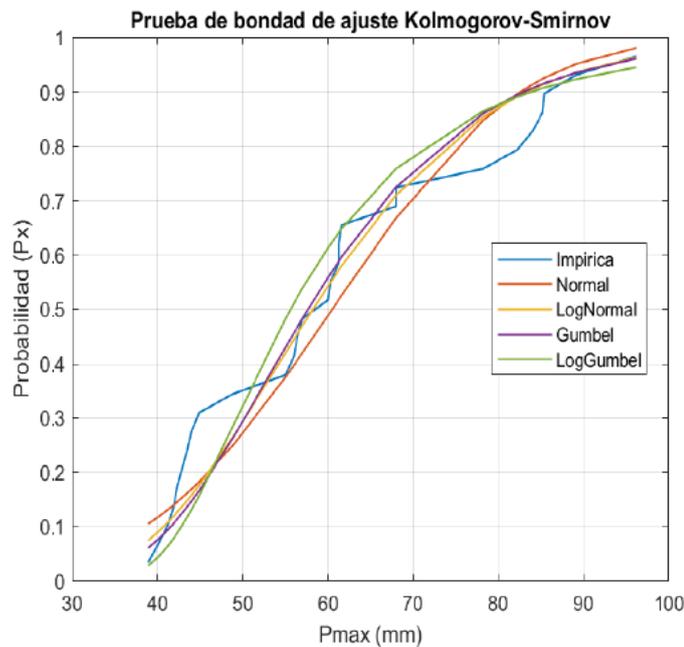


Figura 3.2: gráfico de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Los resultados mostrados en la Tabla 3.4 de la prueba bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov nos permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica. Según MTC (2008) menciona que la “prueba bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $p(x)$ y la estimada $f(x)$ ”.

El programa HYDRETC V1, realiza la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov con las distribuciones Normal, LogNormal Gumbel y LogGumbel, además selecciona la distribución más representativa o la que mejor se ajusta y muestra un gráfico en función de distribución de probabilidad observada $p(x)$ y la estimada $f(x)$, que facilita la interpretación de los datos, como se muestra en la Figura 3.2.

c) Generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno, como se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno

Tr (años)	Prob	Normal Ppmax (mm)	LogNormal PPmax (mm)	Gumbel PPmax (mm)	LogGumbel PPmax (mm)
2	0.5	60.493	58.227	57.659	55.61
5	0.2	75.009	73.696	72.904	71.221
10	0.1	82.604	83.363	82.998	83.898
30	0.033	92.137	97.312	98.25	107.462
35	0.029	93.315	99.191	100.356	111.199
50	0.02	95.93	103.491	105.213	120.318
100	0.01	100.632	111.699	114.604	140.128
140	0.007	102.765	115.633	119.149	150.856
200	0.005	104.936	119.779	123.961	163.11
500	0.002	110.15	130.357	136.306	199.293
1000	0.001	113.808	138.329	145.636	231.875

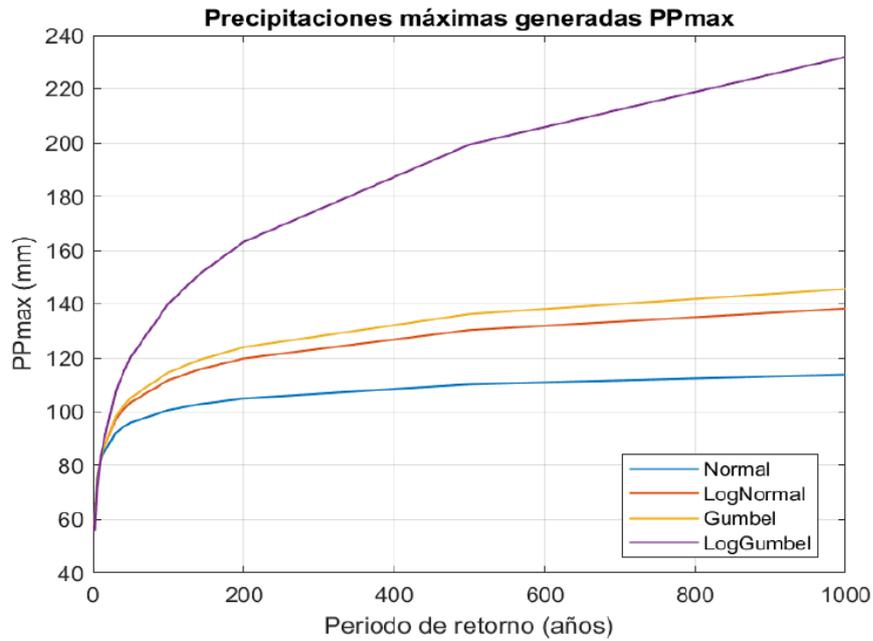


Figura 3.3: grafico de precipitaciones máximas de 24 horas generadas

Selección y corrección de Precipitaciones máximas de 24 horas

Precipitación seleccionada es con la distribución =Normal

Factor de corrección = 1.13

Tabla 3.6: Precipitaciones máximas de 24 horas seleccionada y corregida

Tr (años)	Selec - PPmax (mm)	Correc - PPmax (mm)
2	60.493	68.357
5	75.009	84.76
10	82.604	93.343
30	92.137	104.115
35	93.315	105.446
50	95.93	108.401
100	100.632	113.715
140	102.765	116.125
200	104.936	118.577
500	110.15	124.47
1000	113.808	128.603

En la Tabla 3.5 se muestra los resultados de generación de precipitaciones máximas usando para diferentes periodos de retorno, según Chow, Maidment, & Mays (1994) “el cálculo de las magnitudes de eventos extremos requiere que la función de distribución de probabilidad sea invertible, es decir, dado un valor para T_r o $[F(X_r) = T_r / (T_r - 1)]$, el correspondiente valor de X_T puede determinarse y en la Tabla 3.6 se muestran las precipitaciones máximas de 24 horas seleccionada y corregida”.

El programa HYDRETC V1, genera las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, selecciona y corrige la precipitación con la distribución más representativa, como se muestran en las Tablas 3.5 y Tabla 3.6, además muestra un gráfico en función de periodo de retorno y las precipitaciones generadas, que facilita la interpretación de los datos, como se muestra en la Figura 3.3.

d) Cálculo de tormenta de diseño curvas I-D-F

d.1) Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke)

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de los valores de las curvas I-D-F menores a una hora con el método Dick Peschke, como se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke)

d (min)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200años)	Tr (500años)	Tr (1000años)
10	133.474	145.397	155.119	171.877	174.369	180.274	192.328	198.467	205.188	223.517	238.463
15	98.475	107.272	114.445	126.809	128.647	133.004	141.897	146.426	151.385	164.908	175.935
20	79.364	86.453	92.234	102.199	103.68	107.192	114.359	118.009	122.006	132.904	141.791
25	67.134	73.131	78.021	86.449	87.703	90.673	96.736	99.824	103.204	112.423	119.941
30	58.554	63.784	68.049	75.401	76.494	79.085	84.373	87.066	90.014	98.055	104.612
35	52.161	56.82	60.62	67.169	68.142	70.45	75.161	77.56	80.187	87.349	93.19
40	47.19	51.406	54.843	60.768	61.649	63.736	67.998	70.169	72.545	79.025	84.309
45	43.2	47.059	50.206	55.63	56.436	58.348	62.249	64.236	66.411	72.344	77.181
50	39.918	43.484	46.391	51.403	52.148	53.915	57.52	59.355	61.366	66.847	71.317
55	37.164	40.484	43.191	47.857	48.551	50.195	53.551	55.261	57.132	62.236	66.397
59	35.258	38.407	40.976	45.402	46.061	47.621	50.805	52.426	54.202	59.044	62.991

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

k =703.5363

a =0.093378

b =0.75

Coefficiente de determinación (R^2)

R^2 = 0.98662

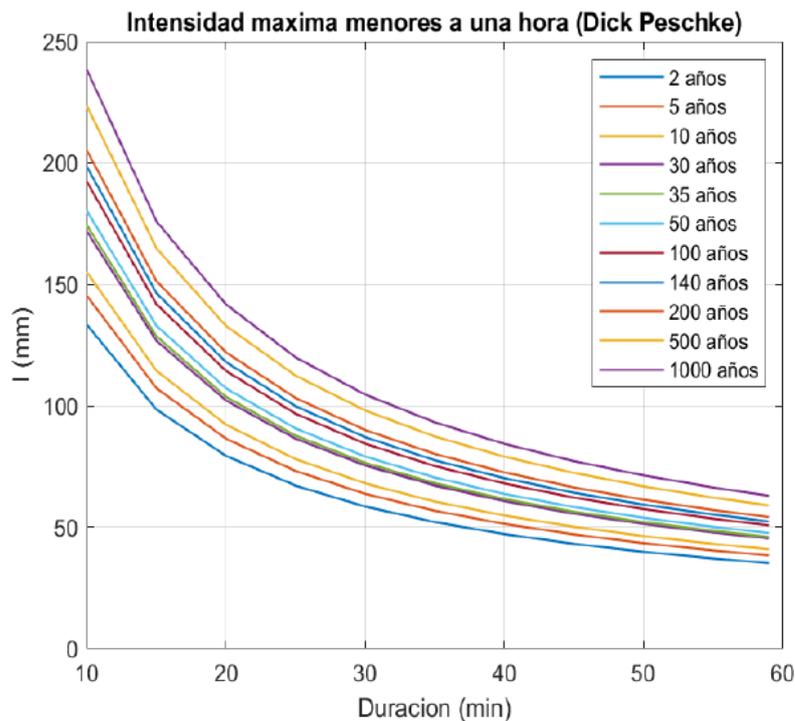


Figura 3.4: grafico de Curvas I-D-F menores a una hora con el método (Dick Peschke)

En la Tabla 3.7 se muestran los resultados valores de las curvas I-D-F para tormentas menores a una hora con el método Dick Peschke. Según MTC (2008) menciona que “para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke”.

El programa HYDRETC V1, elabora la curva (I – D - F) con el método Dick Peschke, teniendo en cuenta las precipitaciones máximas de 24 horas y duración de tormenta menores a una hora, calcula los parámetros de ecuación general de intensidades máximas para este método, además, muestra un gráfico en función de la intensidad duración y frecuencia, que facilita la interpretación de los datos, como se muestra en la Figura 3.4.

d.2) Curvas I-D-F mayores a una hora (Coeficiente de duración)

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de los valores de las curvas I-D-F mayores a una hora con el método de coeficiente de duración, como se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Curvas I-D-F mayores a una hora (Coeficiente de duración)

d (h)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200años)	Tr (500años)	Tr (1000años)
1	18.649	20.315	21.673	24.015	24.363	25.188	26.872	27.73	28.669	31.23	33.318
2	12.771	13.912	14.842	16.445	16.684	17.249	18.402	18.989	19.633	21.386	22.816
3	10.234	11.148	11.893	13.178	13.369	13.822	14.746	15.217	15.732	17.137	18.283
4	8.745	9.527	10.164	11.262	11.425	11.812	12.602	13.004	13.444	14.645	15.625
5	7.742	8.433	8.997	9.969	10.114	10.456	11.156	11.512	11.902	12.965	13.832
6	7.008	7.634	8.144	9.024	9.155	9.465	10.098	10.42	10.773	11.736	12.52
8	5.989	6.524	6.96	7.712	7.824	8.089	8.63	8.905	9.207	10.029	10.7
10	5.302	5.775	6.161	6.827	6.926	7.161	7.639	7.883	8.15	8.878	9.472
12	4.799	5.228	5.577	6.18	6.269	6.482	6.915	7.136	7.378	8.037	8.574
14	4.411	4.806	5.127	5.681	5.763	5.958	6.357	6.56	6.782	7.388	7.882
16	4.101	4.468	4.766	5.281	5.358	5.539	5.91	6.098	6.305	6.868	7.327
18	3.846	4.189	4.469	4.952	5.024	5.194	5.541	5.718	5.912	6.44	6.871
20	3.631	3.955	4.219	4.675	4.743	4.904	5.231	5.398	5.581	6.08	6.486
22	3.446	3.754	4.005	4.438	4.502	4.655	4.966	5.125	5.298	5.771	6.157
24	3.286	3.58	3.819	4.232	4.293	4.439	4.735	4.887	5.052	5.503	5.871
48	2.251	2.452	2.615	2.898	2.94	3.04	3.243	3.346	3.46	3.769	4.021

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

$$k = 163.6295$$

$$a = 0.093378$$

$$b = 0.54625$$

Coefficiente de determinación (R^2)

$$R^2 = 0.98753$$

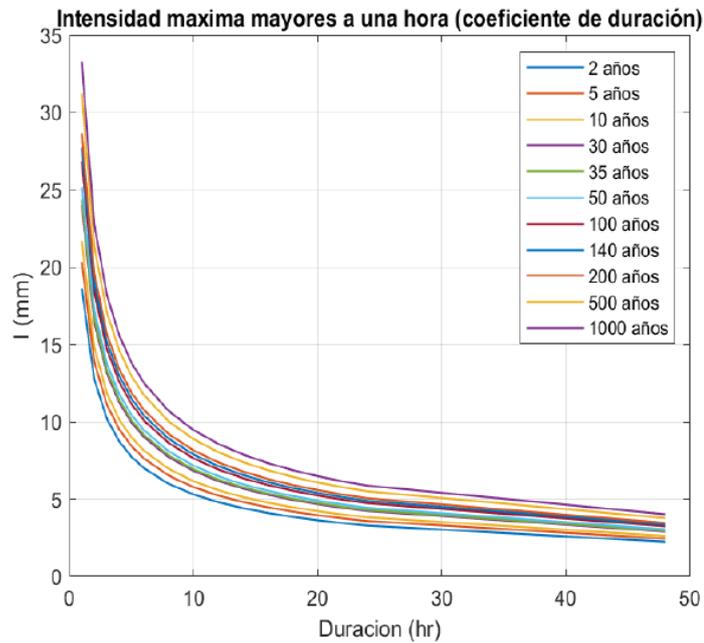


Figura 3.5: Grafico de curvas I-D-F mayores a una hora con el método (Coeficiente de duración)

En la Tabla 3.8 se muestran los resultados valores de las curvas I-D-F para tormentas mayores a una hora con el coeficiente de duración. Según MTC (2008) menciona que “para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante el método de coeficiente de duración”.

El programa HYDRETC V1, elabora la curva (I – D - F) con el método coeficiente de duración, teniendo en cuenta las precipitaciones máximas de 24 horas y duración de tormenta mayores a una hora, calcula los parámetros de ecuación general de intensidades máximas, además, muestra un gráfico en función de la intensidad duración y frecuencia, que facilita la interpretación de los datos, como se muestra en la Figura 3.5.

3.1.3. Cálculo de caudales máximos

a) Método racional

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de los caudales máximos con el método racional de todas las microcuencas, como se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Caudales máximos método racional

Cuenca	Prog	A (km)	Tc (min)	Tr (años)	I (mm)	C	Qr (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	13.847	140	155.478	0.4	26.452
A-01	0+340	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-02	0+405	0.131	10	71	186.275	0.4	2.713
A-03	0+460	0.049	10	71	186.275	0.4	1.015
A-04	1+240	0.125	10	71	186.275	0.4	2.589
A-05	1+340	0.014	10	71	186.275	0.4	0.29
A-06	1+490	0.044	10	71	186.275	0.4	0.911
A-07	1+600	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-08	1+690	0.158	10	71	186.275	0.4	3.273

En la tabla 3.9 muestra los resultados de caudales máximos con el método racional, se realizo teniendo como dato la intensidad maxima, area de microcuenca y coeficiente de escorrentia, según MTC (2008) “estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca, considerando que la duración de P es igual a Tc. Este método es muy usado para cuencas, $A < 10 \text{ km}^2$ ”.

El programa HYDRETC V1, realiza el cálculo de caudales máximos con el método racional de forma sistemática de cada microcuenca aportante al sistema de drenaje como se muestra en la Tabla 3.9, y en caso de contar áreas mayores de 10 km^2 considera el caudal máximo con el valor cero.

b) Método racional Modificado o Temez

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de los caudales máximos con el método racional modificado de todas las microcuencas, como se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Caudales máximos método racional Modificado o Temez

Cuenca	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	K	Ka	P24h (mm)	P (mm)	I (mm)	Po	C1	Qt (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.793	140	77	1.051	0.988	114.585	113.174	59.592	14.935	0.583	15.509
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	143.652	14.935	0.591	0
A-02	0+405	0.131	0.26	71	77	1.013	1.059	107.546	113.875	112.011	14.935	0.585	2.415
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	1.008	1.087	107.546	116.937	144.917	14.935	0.594	0
A-04	1+240	0.125	0.173	71	77	1.008	1.06	107.546	114.021	138.699	14.935	0.585	0
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	1.008	1.124	107.546	120.837	149.751	14.935	0.605	0
A-06	1+490	0.044	0.175	71	77	1.008	1.09	107.546	117.272	141.569	14.935	0.595	0
A-07	1+600	0.068	0.174	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	140.466	14.935	0.591	0
A-08	1+690	0.158	0.25	71	77	1.012	1.053	107.546	113.291	113.746	14.935	0.583	2.947

En la tabla 3.10 se muestra los resultados de caudales máximos con el método racional modificado, se realizó teniendo como dato la intensidad máxima, área de microcuenca y coeficiente de escorrentía y coeficiente de uniformidad, según MTC (2008) “permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 a 24 horas”.

El programa HYDRETC V1, realiza el cálculo de caudales máximos con el método racional modificado de forma sistemática de cada microcuenca aportante al sistema de drenaje como se muestra en la tabla 3.10, y en caso de contar con áreas superior a 770 km² y con tiempos de concentración (Tc) fuera de los rangos de 0.25 a 24 horas se considera el caudal máximo con el valor cero.

c) Método hidrograma unitario triangular del SCS

Los resultados obtenidos con el programa HYDRETC V1, de los caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS de todas las microcuencas, como se muestran en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS

Nro	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	P24h (mm)	Pe (mm)	de(h)	tr(h)	Tp(h)	Tre(h)	Tb(h)	Qhut (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.231	140	77	114.585	56.381	0.961	0.138	0.619	1.034	1.652	28.993
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-02	0+405	0.131	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.719
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.017
A-04	1+240	0.125	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.594
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.291
A-06	1+490	0.044	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.913
A-07	1+600	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-08	1+690	0.158	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	3.279

En la tabla 3.11 se muestra los resultados de caudales máximos con el método de hidrograma unitario triangular del SCS, según MTC (2008) menciona que el método de hidrograma unitario triangular del SCS, es el volumen generado por la separación de la lluvia en neta y abstracciones es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario, que esquematiza la respuesta de una cuenca a una tormenta aislada, proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma, como son: caudal pico (Qp) tiempo base (Tb) y tiempo al pico (Tp) y es usado para áreas menores de 30 km².

El programa HYDRETC V1, realiza el cálculo de caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS de forma sistemática de cada microcuenca aportante al sistema de drenaje como se muestra en la Tabla 3.11, y en caso de contar áreas mayores de 30 km² se considera el caudal máximo con el valor cero.

3.2. Comparación de resultados del programa HYDRETC V1 elaborado en MATLAB, con hojas de cálculo y softwares afines, para su validación.

Para la validación del programa HYDRETC V1, se utilizó hojas de cálculo elaborado en Microsoft Excel y el software Hidroesta.

3.2.1. Parámetros de cuenca

a) Parámetros geomorfológicos

Los resultados de parámetros geomorfológicos con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en la Tabla 3.12 y 3.13 respectivamente.

Tabla 3.12: Parámetros geomorfológicos (Resultados: HYDRETC V1)

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Re	Rci
P-01	0+220	1.53	6.769	1.543	2.847	0.537	0.189	0.255	0.232	0.49	0.42
A-01	0+340	0.068	1.164	1.259	0.42	0.162	0.385	0.303	0.209	0.7	0.631
A-02	0+405	0.131	1.888	1.471	0.775	0.169	0.218	0.18	0.15	0.527	0.462
A-03	0+460	0.049	1.101	1.403	0.439	0.112	0.254	0.267	0.187	0.569	0.508
A-04	1+240	0.125	1.844	1.471	0.757	0.165	0.218	0.224	0.105	0.527	0.462
A-05	1+340	0.014	0.643	1.532	0.27	0.052	0.193	0.161	0.111	0.495	0.426
A-06	1+490	0.044	0.956	1.285	0.354	0.124	0.352	0.227	0.245	0.669	0.605
A-07	1+600	0.068	1.381	1.493	0.572	0.119	0.208	0.242	0.157	0.515	0.448
A-08	1+690	0.158	1.75	1.242	0.62	0.255	0.411	0.189	0.185	0.723	0.648

Tabla 3.13: Parámetros geomorfológicos (Resultados: Microsoft Excel)

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Re	Rci
P-01	0+220	1.53	6.769	1.543	2.847	0.537	0.189	0.255	0.232	0.49	0.42
A-01	0+340	0.068	1.164	1.259	0.42	0.162	0.385	0.303	0.209	0.7	0.631
A-02	0+405	0.131	1.888	1.471	0.775	0.169	0.218	0.18	0.15	0.527	0.462
A-03	0+460	0.049	1.101	1.403	0.439	0.112	0.254	0.267	0.187	0.569	0.508
A-04	1+240	0.125	1.844	1.471	0.757	0.165	0.218	0.224	0.105	0.527	0.462
A-05	1+340	0.014	0.643	1.532	0.27	0.052	0.193	0.161	0.111	0.495	0.426
A-06	1+490	0.044	0.956	1.285	0.354	0.124	0.352	0.227	0.245	0.669	0.605
A-07	1+600	0.068	1.381	1.493	0.572	0.119	0.208	0.242	0.157	0.515	0.448
A-08	1+690	0.158	1.75	1.242	0.62	0.255	0.411	0.189	0.185	0.723	0.648

Los resultados en la Tabla 3.12 y 3.13 de parámetros geomorfológicos, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel tienen valores iguales, el cual nos garantiza la confiabilidad de resultados, y fueron desarrollados previa revisión bibliográfica detallada, como: cálculo de índice de Gravelius (Kc) con la ecuación 01, cálculo de rectángulo equivalente (L) y (l) con las ecuaciones 02 y 03, factor forma (Fl) con la ecuación 03, pendiente de la cuenca (Scu) y cauce (Sca) con la ecuación 08, relación de elongación (Re) con la ecuación 06, relación de circularidad (Rci) con la ecuación 07.

b) Tiempo de concentración

Los resultados de tiempo de concentración con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en la Tabla 3.14 y 3.15 respectivamente.

Tabla 3.14: Tiempo de concentración (Resultados: HYDRETC V1)

Cuenca	Prog (km)	Lca (km)	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Kirpich (min)	Kirpich (h)	Temez (min)	Temez (h)
P-01	0+220	2.556	0.255	0.232	13.847	0.231	47.602	0.793
A-01	0+340	0.277	0.303	0.209	2.342	0.039	8.512	0.142
A-02	0+405	0.54	0.18	0.15	4.79	0.08	15.616	0.26
A-03	0+460	0.285	0.267	0.187	2.515	0.042	8.912	0.149
A-04	1+240	0.333	0.224	0.105	3.034	0.051	10.373	0.173
A-05	1+340	0.149	0.161	0.111	1.854	0.031	5.992	0.1
A-06	1+490	0.341	0.227	0.245	3.071	0.051	10.53	0.175
A-07	1+600	0.343	0.242	0.157	3.012	0.05	10.451	0.174
A-08	1+690	0.52	0.189	0.185	4.559	0.076	15.022	0.25

Tabla 3.15: Tiempo de concentración (Resultados: Microsoft Excel)

Cuenca	Prog (km)	Lca (km)	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Kirpich (min)	Kirpich (h)	Temez (min)	Temez (h)
P-01	0+220	2.556	0.255	0.232	13.847	0.231	47.602	0.793
A-01	0+340	0.277	0.303	0.209	2.342	0.039	8.512	0.142
A-02	0+405	0.54	0.18	0.15	4.79	0.08	15.616	0.26
A-03	0+460	0.285	0.267	0.187	2.515	0.042	8.912	0.149
A-04	1+240	0.333	0.224	0.105	3.034	0.051	10.373	0.173
A-05	1+340	0.149	0.161	0.111	1.854	0.031	5.992	0.1
A-06	1+490	0.341	0.227	0.245	3.071	0.051	10.53	0.175
A-07	1+600	0.343	0.242	0.157	3.012	0.05	10.451	0.174
A-08	1+690	0.52	0.189	0.185	4.559	0.076	15.022	0.25

Los resultados en la Tabla 3.14 y 3.15 de tiempos de concentración con los métodos Kirpich y Temez, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel tienen valores iguales, el cual nos garantiza la confiabilidad de resultados, y fueron desarrolladas con las ecuaciones 10 y 11.

3.2.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos

a) Prueba de datos dudosos método de Water Resources Council

Los resultados de la prueba de datos dudosos con el método de Water Resources Council, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16: Prueba de datos dudosos método de Water Resources Council

Resultados: HYDRETC V1					Resultados: Microsoft Excel				
Nro	Año	Pmax (mm)	log (pmax)	Condición	Nro	Año	Pmax (mm)	log (pmax)	Condición
1	1964	60	1.778	confiable	1	1964	60	1.778	confiable
2	1965	44.9	1.652	confiable	2	1965	44.9	1.652	confiable
3	1966	55	1.74	confiable	3	1966	55	1.74	confiable
4	1967	61.3	1.787	confiable	4	1967	61.3	1.787	confiable
5	1968	61.3	1.787	confiable	5	1968	61.3	1.787	confiable
6	1969	57	1.756	confiable	6	1969	57	1.756	confiable
7	1970	60.3	1.78	confiable	7	1970	60.3	1.78	confiable
8	1971	56.4	1.751	confiable	8	1971	56.4	1.751	confiable
9	1972	85.2	1.93	confiable	9	1972	85.2	1.93	confiable
10	1973	68	1.833	confiable	10	1973	68	1.833	confiable
11	1974	96.2	1.983	confiable	11	1974	96.2	1.983	confiable
12	1975	85.4	1.931	confiable	12	1975	85.4	1.931	confiable
13	1976	61.6	1.79	confiable	13	1976	61.6	1.79	confiable
14	1977	78.2	1.893	confiable	14	1977	78.2	1.893	confiable
15	1978	84	1.924	confiable	15	1978	84	1.924	confiable
16	1979	42.3	1.626	confiable	16	1979	42.3	1.626	confiable
17	1980	40.1	1.603	confiable	17	1980	40.1	1.603	confiable
18	1981	48.9	1.689	confiable	18	1981	48.9	1.689	confiable
19	1982	41.9	1.622	confiable	19	1982	41.9	1.622	confiable
20	1983	41.2	1.615	confiable	20	1983	41.2	1.615	confiable
21	1984	42.9	1.632	confiable	21	1984	42.9	1.632	confiable
22	1985	38.9	1.59	confiable	22	1985	38.9	1.59	confiable
23	1986	89.1	1.95	confiable	23	1986	89.1	1.95	confiable
24	1987	82.2	1.915	confiable	24	1987	82.2	1.915	confiable
25	1988	44	1.643	confiable	25	1988	44	1.643	confiable
26	1989	68	1.833	confiable	26	1989	68	1.833	confiable
27	1990	56	1.748	confiable	27	1990	56	1.748	confiable
28	1991	43.5	1.638	confiable	28	1991	43.5	1.638	confiable

Los resultados en la Tabla 3.16, de prueba de datos dudosos con el método de Water Resources Council, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel

son iguales, el cual nos garantiza la confiabilidad de resultados, y fueron desarrollados con las ecuaciones 27, 28, 29 y 30.

b) Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y el programa Hidroesta se muestran en las Tablas 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 respectivamente.

Tabla 3.17: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Normal)

Resultados: HYDRETC V1					Resultados: Hidroesta				
Nro	Pmax (mm)	Px	Normal (Fx)	Normal (D)	m	X	Px	F(Z) Ordinario	Delta
1	38.9	0.034	0.105	0.071	1	38.9	0.034	0.105	0.071
2	40.1	0.069	0.119	0.05	2	40.1	0.069	0.119	0.05
3	41.2	0.103	0.132	0.028	3	41.2	0.103	0.132	0.028
4	41.9	0.138	0.141	0.003	4	41.9	0.138	0.141	0.003
5	42.3	0.172	0.146	0.027	5	42.3	0.172	0.146	0.027
6	42.9	0.207	0.154	0.053	6	42.9	0.207	0.154	0.053
7	43.5	0.241	0.162	0.079	7	43.5	0.241	0.162	0.079
8	44	0.276	0.17	0.106	8	44	0.276	0.17	0.106
9	44.9	0.31	0.183	0.127	9	44.9	0.31	0.183	0.127
10	48.9	0.345	0.251	0.094	10	48.9	0.345	0.251	0.094
11	55	0.379	0.375	0.004	11	55	0.379	0.375	0.004
12	56	0.414	0.397	0.017	12	56	0.414	0.397	0.017
13	56.4	0.448	0.406	0.042	13	56.4	0.448	0.406	0.042
14	57	0.483	0.42	0.063	14	57	0.483	0.42	0.063
15	60	0.517	0.489	0.029	15	60	0.517	0.489	0.029
16	60.3	0.552	0.496	0.056	16	60.3	0.552	0.496	0.056
17	61.3	0.586	0.519	0.068	17	61.3	0.586	0.519	0.068
18	61.3	0.621	0.519	0.102	18	61.3	0.621	0.519	0.102
19	61.6	0.655	0.526	0.13	19	61.6	0.655	0.526	0.13
20	68	0.69	0.668	0.021	20	68	0.69	0.668	0.021
21	68	0.724	0.668	0.056	21	68	0.724	0.668	0.056
22	78.2	0.759	0.848	0.089	22	78.2	0.759	0.848	0.089
23	82.2	0.793	0.896	0.103	23	82.2	0.793	0.896	0.103
24	84	0.828	0.914	0.086	24	84	0.828	0.914	0.086
25	85.2	0.862	0.924	0.062	25	85.2	0.862	0.924	0.062
26	85.4	0.897	0.926	0.029	26	85.4	0.897	0.926	0.029
27	89.1	0.931	0.951	0.02	27	89.1	0.931	0.951	0.02
28	96.2	0.966	0.981	0.015	28	96.2	0.966	0.981	0.015
delta tabular = 0.257					delta tabular = 0.257				
delta teórico = 0.1296					delta teórico = 0.1296				
Nivel de significancia = 5%					Nivel de significancia = 5%				
Condición = Se ajusta					Condición = Se ajusta				

Tabla 3.18: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogNormal)

Resultados: HYDRETC V1					Resultados: Hidroesta				
Nro	Pmax (mm)	Px	LogNormal (Fx)	LogNormal (D)	m	X	Px	F(Z) Ordinario	Delta
1	38.9	0.034	0.075	0.04	1	38.9	0.034	0.075	0.04
2	40.1	0.069	0.091	0.022	2	40.1	0.069	0.091	0.022
3	41.2	0.103	0.108	0.005	3	41.2	0.103	0.108	0.005
4	41.9	0.138	0.12	0.018	4	41.9	0.138	0.12	0.018
5	42.3	0.172	0.127	0.046	5	42.3	0.172	0.127	0.046
6	42.9	0.207	0.138	0.069	6	42.9	0.207	0.138	0.069
7	43.5	0.241	0.149	0.093	7	43.5	0.241	0.149	0.093
8	44	0.276	0.158	0.117	8	44	0.276	0.158	0.117
9	44.9	0.31	0.177	0.134	9	44.9	0.31	0.177	0.134
10	48.9	0.345	0.266	0.078	10	48.9	0.345	0.266	0.078
11	55	0.379	0.419	0.04	11	55	0.379	0.419	0.04
12	56	0.414	0.445	0.031	12	56	0.414	0.445	0.031
13	56.4	0.448	0.455	0.006	13	56.4	0.448	0.455	0.006
14	57	0.483	0.47	0.013	14	57	0.483	0.47	0.013
15	60	0.517	0.543	0.025	15	60	0.517	0.543	0.025
16	60.3	0.552	0.55	0.002	16	60.3	0.552	0.55	0.002
17	61.3	0.586	0.573	0.013	17	61.3	0.586	0.573	0.013
18	61.3	0.621	0.573	0.048	18	61.3	0.621	0.573	0.048
19	61.6	0.655	0.58	0.075	19	61.6	0.655	0.58	0.075
20	68	0.69	0.71	0.021	20	68	0.69	0.71	0.021
21	68	0.724	0.71	0.014	21	68	0.724	0.71	0.014
22	78.2	0.759	0.854	0.095	22	78.2	0.759	0.854	0.095
23	82.2	0.793	0.891	0.098	23	82.2	0.793	0.891	0.098
24	84	0.828	0.905	0.077	24	84	0.828	0.905	0.077
25	85.2	0.862	0.913	0.051	25	85.2	0.862	0.913	0.051
26	85.4	0.897	0.914	0.018	26	85.4	0.897	0.914	0.018
27	89.1	0.931	0.936	0.005	27	89.1	0.931	0.936	0.005
28	96.2	0.966	0.964	0.002	28	96.2	0.966	0.964	0.002
delta tabular = 0.257					delta tabular = 0.257				
delta teórico = 0.1337					delta teórico = 0.1337				
Nivel de significancia = 5%					Nivel de significancia = 5%				
Condición = Se ajusta					Condición = Se ajusta				

Tabla 3.19: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (Gumbel)

Resultados: HYDRETC V1					Resultados: Hidroesta				
Nro	Pmax (mm)	Px	Gumbel (Fx)	Gumbel (D)	m	X	Px	F(Z) Ordinario	Delta
1	38.9	0.034	0.061	0.027	1	38.9	0.034	0.061	0.027
2	40.1	0.069	0.078	0.009	2	40.1	0.069	0.078	0.009
3	41.2	0.103	0.095	0.009	3	41.2	0.103	0.095	0.009
4	41.9	0.138	0.107	0.031	4	41.9	0.138	0.107	0.031
5	42.3	0.172	0.114	0.058	5	42.3	0.172	0.114	0.058
6	42.9	0.207	0.125	0.082	6	42.9	0.207	0.125	0.082
7	43.5	0.241	0.137	0.104	7	43.5	0.241	0.137	0.104
8	44	0.276	0.148	0.128	8	44	0.276	0.148	0.128
9	44.9	0.31	0.167	0.143	9	44.9	0.31	0.167	0.143
10	48.9	0.345	0.265	0.08	10	48.9	0.345	0.265	0.08
11	55	0.379	0.43	0.05	11	55	0.379	0.43	0.05
12	56	0.414	0.456	0.043	12	56	0.414	0.456	0.043
13	56.4	0.448	0.467	0.019	13	56.4	0.448	0.467	0.019
14	57	0.483	0.483	0	14	57	0.483	0.483	0
15	60	0.517	0.559	0.041	15	60	0.517	0.559	0.041
16	60.3	0.552	0.566	0.014	16	60.3	0.552	0.566	0.014
17	61.3	0.586	0.589	0.003	17	61.3	0.586	0.589	0.003
18	61.3	0.621	0.589	0.031	18	61.3	0.621	0.589	0.031
19	61.6	0.655	0.596	0.059	19	61.6	0.655	0.596	0.059
20	68	0.69	0.725	0.036	20	68	0.69	0.725	0.036
21	68	0.724	0.725	0.001	21	68	0.724	0.725	0.001
22	78.2	0.759	0.86	0.102	22	78.2	0.759	0.86	0.102
23	82.2	0.793	0.894	0.101	23	82.2	0.793	0.894	0.101
24	84	0.828	0.907	0.079	24	84	0.828	0.907	0.079
25	85.2	0.862	0.914	0.052	25	85.2	0.862	0.914	0.052
26	85.4	0.897	0.916	0.019	26	85.4	0.897	0.916	0.019
27	89.1	0.931	0.935	0.004	27	89.1	0.931	0.935	0.004
28	96.2	0.966	0.961	0.004	28	96.2	0.966	0.961	0.004
delta tabular = 0.257					delta tabular = 0.257				
delta teórico = 0.1433					delta teórico = 0.1433				
Nivel de significancia = 5%					Nivel de significancia = 5%				
Condición = Se ajusta					Condición = Se ajusta				

Tabla 3.20: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (LogGumbel)

Resultados: HYDRETC V1					Resultados: Hidroesta				
Nro	Pmax (mm)	Px	LogGumbel (Fx)	LogGumbel (D)	m	X	Px	F(Z) Ordinario	Delta
1	38.9	0.034	0.028	0.006	1	38.9	0.034	0.028	0.006
2	40.1	0.069	0.045	0.024	2	40.1	0.069	0.045	0.024
3	41.2	0.103	0.065	0.039	3	41.2	0.103	0.065	0.039
4	41.9	0.138	0.079	0.059	4	41.9	0.138	0.079	0.059
5	42.3	0.172	0.088	0.084	5	42.3	0.172	0.088	0.084
6	42.9	0.207	0.103	0.104	6	42.9	0.207	0.103	0.104
7	43.5	0.241	0.118	0.123	7	43.5	0.241	0.118	0.123
8	44	0.276	0.132	0.144	8	44	0.276	0.132	0.144
9	44.9	0.31	0.158	0.153	9	44.9	0.31	0.158	0.153
10	48.9	0.345	0.287	0.058	10	48.9	0.345	0.287	0.058
11	55	0.379	0.482	0.103	11	55	0.379	0.482	0.103
12	56	0.414	0.511	0.097	12	56	0.414	0.511	0.097
13	56.4	0.448	0.522	0.074	13	56.4	0.448	0.522	0.074
14	57	0.483	0.538	0.056	14	57	0.483	0.538	0.056
15	60	0.517	0.613	0.096	15	60	0.517	0.613	0.096
16	60.3	0.552	0.62	0.068	16	60.3	0.552	0.62	0.068
17	61.3	0.586	0.642	0.056	17	61.3	0.586	0.642	0.056
18	61.3	0.621	0.642	0.021	18	61.3	0.621	0.642	0.021
19	61.6	0.655	0.648	0.007	19	61.6	0.655	0.648	0.007
20	68	0.69	0.759	0.069	20	68	0.69	0.759	0.069
21	68	0.724	0.759	0.035	21	68	0.724	0.759	0.035
22	78.2	0.759	0.865	0.106	22	78.2	0.759	0.865	0.106
23	82.2	0.793	0.891	0.098	23	82.2	0.793	0.891	0.098
24	84	0.828	0.901	0.073	24	84	0.828	0.901	0.073
25	85.2	0.862	0.906	0.044	25	85.2	0.862	0.906	0.044
26	85.4	0.897	0.907	0.011	26	85.4	0.897	0.907	0.011
27	89.1	0.931	0.923	0.008	27	89.1	0.931	0.923	0.008
28	96.2	0.966	0.945	0.02	28	96.2	0.966	0.945	0.02
delta tabular = 0.257					delta tabular = 0.257				
delta teórico = 0.1526					delta teórico = 0.1526				
Nivel de significancia = 5%					Nivel de significancia = 5%				
Condición = Se ajusta					Condición = Se ajusta				

Los resultados en las Tablas 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y el programa Hidroesta tienen valores iguales, el cual nos garantiza la confiabilidad de resultados, y fueron desarrollados con las ecuaciones 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 y 41.

c) Generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno

Los resultados de la de generación de precipitaciones máximas de 24 horas usando factores de frecuencia con las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y el programa Hidroesta se muestran en las Tablas 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24 respectivamente.

Tabla 3.21: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno
(Normal)

Resultados: HYDRETC V1			Resultados: Hidroesta		
Tr (años)	Prob	Normal Ppmax (mm)	T	P	Q
2	0.5	60.49	2	0.5	60.49
5	0.2	75.01	5	0.2	75.01
10	0.1	82.60	10	0.1	82.60
30	0.033	92.14	30	0.033	92.14
35	0.029	93.32	35	0.029	93.32
50	0.02	95.93	50	0.02	95.93
100	0.01	100.63	100	0.01	100.63
140	0.007	102.77	140	0.007	102.77
200	0.005	104.94	200	0.005	104.94
500	0.002	110.15	500	0.002	110.15
1000	0.001	113.81	1000	0.001	113.81

Tabla 3.22: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno
(LogNormal)

Resultados: HYDRETC V1			Resultados: Hidroesta		
Tr (años)	Prob	LogNormal Ppmax (mm)	T	P	Q
2	0.5	58.23	2	0.5	58.23
5	0.2	73.70	5	0.2	73.70
10	0.1	83.36	10	0.1	83.36
30	0.033	97.31	30	0.033	97.31
35	0.029	99.19	35	0.029	99.19
50	0.02	103.49	50	0.02	103.49
100	0.01	111.70	100	0.01	111.70
140	0.007	115.63	140	0.007	115.63
200	0.005	119.78	200	0.005	119.78
500	0.002	130.36	500	0.002	130.36
1000	0.001	138.33	1000	0.001	138.33

Tabla 3.23: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno (Gumbel).

Resultados: HYDRETC V1			Resultados: Hidroesta		
Tr (años)	Prob	Gumbel Ppmax (mm)	T	P	Q
2	0.5	57.66	2	0.5	57.66
5	0.2	72.90	5	0.2	72.90
10	0.1	83.00	10	0.1	83.00
30	0.033	98.25	30	0.033	98.25
35	0.029	100.36	35	0.029	100.36
50	0.02	105.21	50	0.02	105.21
100	0.01	114.60	100	0.01	114.60
140	0.007	119.15	140	0.007	119.15
200	0.005	123.96	200	0.005	123.96
500	0.002	136.31	500	0.002	136.31
1000	0.001	145.64	1000	0.001	145.64

Tabla 3.24: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno (LogGumbel).

Resultados: HYDRETC V1			Resultados: Hidroesta		
Tr (años)	Prob	LogGumbel Ppmax (mm)	T	P	Q
2	0.5	55.61	2	0.5	55.61
5	0.2	71.22	5	0.2	71.22
10	0.1	83.90	10	0.1	83.90
30	0.033	107.46	30	0.033	107.46
35	0.029	111.20	35	0.029	111.20
50	0.02	120.32	50	0.02	120.32
100	0.01	140.13	100	0.01	140.13
140	0.007	150.86	140	0.007	150.86
200	0.005	163.11	200	0.005	163.11
500	0.002	199.29	500	0.002	199.29
1000	0.001	231.88	1000	0.001	231.88

Los resultados en la Tabla 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24 de generación de precipitaciones máximas de 24 horas, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y el programa Hidroesta tienen valores iguales, el cual nos garantiza resultados confiables, y fueron desarrollados con las ecuaciones 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52.

d) Cálculo de tormenta de diseño curvas I-D-F

d.1) Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke)

Los resultados de la curva I-D-F menores a una hora con el método de Dick Peschke desarrollado con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en las Tablas 3.25, 3.26 respectivamente.

Tabla 3.25: Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke) (Resultados: HYDRETC V1)

d (min)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200año)	Tr (500años)	Tr (1000años)
10	133.474	145.397	155.119	171.877	174.369	180.274	192.328	198.467	205.188	223.517	238.463
15	98.475	107.272	114.445	126.809	128.647	133.004	141.897	146.426	151.385	164.908	175.935
20	79.364	86.453	92.234	102.199	103.68	107.192	114.359	118.009	122.006	132.904	141.791
25	67.134	73.131	78.021	86.449	87.703	90.673	96.736	99.824	103.204	112.423	119.941
30	58.554	63.784	68.049	75.401	76.494	79.085	84.373	87.066	90.014	98.055	104.612
35	52.161	56.82	60.62	67.169	68.142	70.45	75.161	77.56	80.187	87.349	93.19
40	47.19	51.406	54.843	60.768	61.649	63.736	67.998	70.169	72.545	79.025	84.309
45	43.2	47.059	50.206	55.63	56.436	58.348	62.249	64.236	66.411	72.344	77.181
50	39.918	43.484	46.391	51.403	52.148	53.915	57.52	59.355	61.366	66.847	71.317
55	37.164	40.484	43.191	47.857	48.551	50.195	53.551	55.261	57.132	62.236	66.397
59	35.258	38.407	40.976	45.402	46.061	47.621	50.805	52.426	54.202	59.044	62.991

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

$$k = 703.5363$$

$$a = 0.093378$$

$$b = 0.75$$

Coefficiente de determinación (R^2)

$$R^2 = 0.98662$$

Tabla 3.26: Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke) (Resultados: Microsoft Excel)

d (min)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200año)	Tr (500años)	Tr (1000años)
10	133.474	145.397	155.119	171.877	174.369	180.274	192.328	198.467	205.188	223.517	238.463
15	98.475	107.272	114.445	126.809	128.647	133.004	141.897	146.426	151.385	164.908	175.935
20	79.364	86.453	92.234	102.199	103.68	107.192	114.359	118.009	122.006	132.904	141.791
25	67.134	73.131	78.021	86.449	87.703	90.673	96.736	99.824	103.204	112.423	119.941
30	58.554	63.784	68.049	75.401	76.494	79.085	84.373	87.066	90.014	98.055	104.612
35	52.161	56.82	60.62	67.169	68.142	70.45	75.161	77.56	80.187	87.349	93.19
40	47.19	51.406	54.843	60.768	61.649	63.736	67.998	70.169	72.545	79.025	84.309
45	43.2	47.059	50.206	55.63	56.436	58.348	62.249	64.236	66.411	72.344	77.181
50	39.918	43.484	46.391	51.403	52.148	53.915	57.52	59.355	61.366	66.847	71.317
55	37.164	40.484	43.191	47.857	48.551	50.195	53.551	55.261	57.132	62.236	66.397
59	35.258	38.407	40.976	45.402	46.061	47.621	50.805	52.426	54.202	59.044	62.991

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

$$k = 703.5363$$

$$a = 0.093378$$

$$b = 0.75$$

Coefficiente de determinación (R²)

$$R^2 = 0.98662$$

Los resultados en la Tabla 3.25 y 3.26 de cálculo de curvas I-D-F menores a una hora con el método de Dick Peschke, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel tienen valores iguales, además se comparó los resultados de los parámetros de ecuación general obteniendo los mismos resultados, el cual nos garantiza la confiabilidad de los resultados, y fueron desarrollados con las ecuaciones 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62 y 63.

d.2) Curvas I-D-F mayores a una hora (Coeficientes de duración)

Los resultados de la curva I-D-F mayores a una hora con el método de coeficientes de duración desarrollado con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en las Tablas 3.27, 3.28 respectivamente.

Tabla 3.27: Curvas I-D-F menores a una hora (Coeficientes de duración) (Resultados: HYDRETC V1)

d (h)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200año)	Tr (500años)	Tr (1000años)
1	18.649	20.315	21.673	24.015	24.363	25.188	26.872	27.73	28.669	31.23	33.318
2	12.771	13.912	14.842	16.445	16.684	17.249	18.402	18.989	19.633	21.386	22.816
3	10.234	11.148	11.893	13.178	13.369	13.822	14.746	15.217	15.732	17.137	18.283
4	8.745	9.527	10.164	11.262	11.425	11.812	12.602	13.004	13.444	14.645	15.625
5	7.742	8.433	8.997	9.969	10.114	10.456	11.156	11.512	11.902	12.965	13.832
6	7.008	7.634	8.144	9.024	9.155	9.465	10.098	10.42	10.773	11.736	12.52
8	5.989	6.524	6.96	7.712	7.824	8.089	8.63	8.905	9.207	10.029	10.7
10	5.302	5.775	6.161	6.827	6.926	7.161	7.639	7.883	8.15	8.878	9.472
12	4.799	5.228	5.577	6.18	6.269	6.482	6.915	7.136	7.378	8.037	8.574
14	4.411	4.806	5.127	5.681	5.763	5.958	6.357	6.56	6.782	7.388	7.882
16	4.101	4.468	4.766	5.281	5.358	5.539	5.91	6.098	6.305	6.868	7.327
18	3.846	4.189	4.469	4.952	5.024	5.194	5.541	5.718	5.912	6.44	6.871
20	3.631	3.955	4.219	4.675	4.743	4.904	5.231	5.398	5.581	6.08	6.486
22	3.446	3.754	4.005	4.438	4.502	4.655	4.966	5.125	5.298	5.771	6.157
24	3.286	3.58	3.819	4.232	4.293	4.439	4.735	4.887	5.052	5.503	5.871
48	2.251	2.452	2.615	2.898	2.94	3.04	3.243	3.346	3.46	3.769	4.021

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

$k = 163.6295$

$a = 0.093378$

$b = 0.54625$

Coefficiente de determinación (R²)

$R^2 = 0.98753$

Tabla 3.28: Curvas I-D-F menores a una hora (Coeficientes de duración) (Resultados: Microsoft Excel)

d (h)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200año)	Tr (500años)	Tr (1000años)
1	18.649	20.315	21.673	24.015	24.363	25.188	26.872	27.73	28.669	31.23	33.318
2	12.771	13.912	14.842	16.445	16.684	17.249	18.402	18.989	19.633	21.386	22.816
3	10.234	11.148	11.893	13.178	13.369	13.822	14.746	15.217	15.732	17.137	18.283
4	8.745	9.527	10.164	11.262	11.425	11.812	12.602	13.004	13.444	14.645	15.625
5	7.742	8.433	8.997	9.969	10.114	10.456	11.156	11.512	11.902	12.965	13.832
6	7.008	7.634	8.144	9.024	9.155	9.465	10.098	10.42	10.773	11.736	12.52
8	5.989	6.524	6.96	7.712	7.824	8.089	8.63	8.905	9.207	10.029	10.7
10	5.302	5.775	6.161	6.827	6.926	7.161	7.639	7.883	8.15	8.878	9.472
12	4.799	5.228	5.577	6.18	6.269	6.482	6.915	7.136	7.378	8.037	8.574
14	4.411	4.806	5.127	5.681	5.763	5.958	6.357	6.56	6.782	7.388	7.882
16	4.101	4.468	4.766	5.281	5.358	5.539	5.91	6.098	6.305	6.868	7.327
18	3.846	4.189	4.469	4.952	5.024	5.194	5.541	5.718	5.912	6.44	6.871
20	3.631	3.955	4.219	4.675	4.743	4.904	5.231	5.398	5.581	6.08	6.486
22	3.446	3.754	4.005	4.438	4.502	4.655	4.966	5.125	5.298	5.771	6.157
24	3.286	3.58	3.819	4.232	4.293	4.439	4.735	4.887	5.052	5.503	5.871
48	2.251	2.452	2.615	2.898	2.94	3.04	3.243	3.346	3.46	3.769	4.021

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

$k = 163.6295$

$a = 0.093378$

$b = 0.54625$

Coefficiente de determinación (R²)

$R^2 = 0.98753$

Los resultados en la tabla 3.27 y 3.28 de cálculo de curvas I-D-F mayores a una hora con el método de coeficientes de duración, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel tienen valores iguales, además se comparó los resultados de los parámetros de ecuación general obteniendo los mismos resultados, el cual nos garantiza la confiabilidad de los resultados, y están desarrollados con las ecuaciones 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62 y 63.

3.2.3. Cálculo de caudales máximos

a) Método racional

Los resultados de caudales máximos con el método racional desarrollado con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en las Tablas 3.29, 3.30 respectivamente.

Tabla 3.29: Caudales máximos método racional (Resultados: HYDRETC V1)

Cuenca	Prog	A (km)	Tc (min)	Tr (años)	I (mm)	C	Qr (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	13.847	140	155.478	0.4	26.452
A-01	0+340	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-02	0+405	0.131	10	71	186.275	0.4	2.713
A-03	0+460	0.049	10	71	186.275	0.4	1.015
A-04	1+240	0.125	10	71	186.275	0.4	2.589
A-05	1+340	0.014	10	71	186.275	0.4	0.29
A-06	1+490	0.044	10	71	186.275	0.4	0.911
A-07	1+600	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-08	1+690	0.158	10	71	186.275	0.4	3.273

Tabla 3.30: Caudales máximos método racional (Resultados: Microsoft Excel)

Cuenca	Prog	A (km)	Tc (min)	Tr (años)	I (mm)	C	Qr (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	13.847	140	155.478	0.4	26.452
A-01	0+340	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-02	0+405	0.131	10	71	186.275	0.4	2.713
A-03	0+460	0.049	10	71	186.275	0.4	1.015
A-04	1+240	0.125	10	71	186.275	0.4	2.589
A-05	1+340	0.014	10	71	186.275	0.4	0.29
A-06	1+490	0.044	10	71	186.275	0.4	0.911
A-07	1+600	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-08	1+690	0.158	10	71	186.275	0.4	3.273

Los resultados en la Tabla 3.29 y 3.30 de caudales máximos con el método racional, desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel tienen valores iguales, el cual nos garantiza la confiabilidad de los resultados, y fue desarrollado con la ecuación 64.

b) Método racional modificado o Temez

Los resultados de caudales máximos con el método racional modificado o Temez desarrollado con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en las Tablas 3.31, 3.32 respectivamente.

Tabla 3.31: Caudales máximos método racional Modificado o Temez (Resultados: HYDRETC V1)

Cuenca	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	K	Ka	P24h (mm)	P (mm)	I (mm)	Po	C1	Qt (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.793	140	77	1.051	0.988	114.585	113.174	59.592	14.935	0.583	15.509
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	143.652	14.935	0.591	0
A-02	0+405	0.131	0.26	71	77	1.013	1.059	107.546	113.875	112.011	14.935	0.585	2.415
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	1.008	1.087	107.546	116.937	144.917	14.935	0.594	0
A-04	1+240	0.125	0.173	71	77	1.008	1.06	107.546	114.021	138.699	14.935	0.585	0
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	1.008	1.124	107.546	120.837	149.751	14.935	0.605	0
A-06	1+490	0.044	0.175	71	77	1.008	1.09	107.546	117.272	141.569	14.935	0.595	0
A-07	1+600	0.068	0.174	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	140.466	14.935	0.591	0
A-08	1+690	0.158	0.25	71	77	1.012	1.053	107.546	113.291	113.746	14.935	0.583	2.947

Tabla 3.32: Caudales máximos método racional Modificado o Temez (Resultados: Microsoft Excel)

Cuenca	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	K	Ka	P24h (mm)	P (mm)	I (mm)	Po	C1	Qt (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.793	140	77	1.051	0.988	114.585	113.174	59.592	14.935	0.583	15.509
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	143.652	14.935	0.591	0
A-02	0+405	0.131	0.26	71	77	1.013	1.059	107.546	113.875	112.011	14.935	0.585	2.415
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	1.008	1.087	107.546	116.937	144.917	14.935	0.594	0
A-04	1+240	0.125	0.173	71	77	1.008	1.06	107.546	114.021	138.699	14.935	0.585	0
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	1.008	1.124	107.546	120.837	149.751	14.935	0.605	0
A-06	1+490	0.044	0.175	71	77	1.008	1.09	107.546	117.272	141.569	14.935	0.595	0
A-07	1+600	0.068	0.174	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	140.466	14.935	0.591	0
A-08	1+690	0.158	0.25	71	77	1.012	1.053	107.546	113.291	113.746	14.935	0.583	2.947

Los resultados en la Tabla 3.31 y 3.32 de caudales máximos con el método racional modificado o Temez desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel tienen valores iguales, el cual nos garantiza la confiabilidad de los resultados, y fueron desarrollados con las ecuaciones 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 y 72.

c) Método hidrograma unitario triangular del SCS

Los resultados de caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS, desarrollado con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel se muestran en las Tablas 3.33, 3.34 respectivamente.

Tabla 3.33: Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS (Resultados: HYDRETC V1)

Cuenca	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	P24h (mm)	Pe (mm)	de(h)	tr(h)	Tp(h)	Tre(h)	Tb(h)	Qhut (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.231	140	77	114.585	56.381	0.961	0.138	0.619	1.034	1.652	28.993
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-02	0+405	0.131	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.719
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.017
A-04	1+240	0.125	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.594
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.291
A-06	1+490	0.044	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.913
A-07	1+600	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-08	1+690	0.158	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	3.279

Tabla 3.34: Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS (Resultados: Microsoft Excel)

Cuenca	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	P24h (mm)	Pe (mm)	de(h)	tr(h)	Tp(h)	Tre(h)	Tb(h)	Qhut (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.231	140	77	114.585	56.381	0.961	0.138	0.619	1.034	1.652	28.993
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-02	0+405	0.131	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.719
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.017
A-04	1+240	0.125	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.594
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.291
A-06	1+490	0.044	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.913
A-07	1+600	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-08	1+690	0.158	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	3.279

Los resultados en la Tabla 3.33 y 3.34 de caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS desarrollados con el programa HYDRETC V1, y hoja de cálculo en Microsoft Excel tienen valores iguales, el cual nos garantiza la confiabilidad de los resultados, y están desarrollados con las ecuaciones 73, 74, 75, 76, 77 y 78.

3.3. Interfaz gráfica de HYDRETC

3.3.1. Ventana de inicio

La apertura del programa HYDRETC V1 muestra la Figura 3.6.

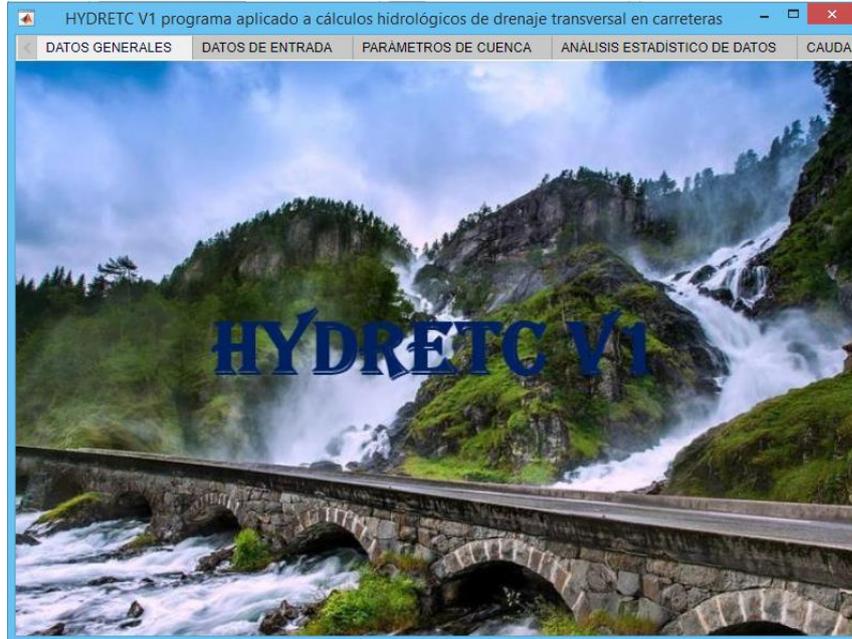


Figura 3.6: Ventana de inicio

3.3.2. Ventana de datos generales

La selección de la ventana de datos generales muestra la Figura 3. 7.

PROYECTO:		TRABAJOS DESARROLLADOS	
"Mejoramiento y ampliación de camino vecinal entre las comunidades"		DATOS DE ENTRADA (Importados)	
		Características físicas de cuencas, C, CN y Tr: Cuenca, progresiva (Prog), Área (A), Perímetro (P), Longitud de cauce (Lca), Cota más alto del cauce (Cmca), Cota más alto de la cuenca (Cmca), Cota de salida de cuenca (Cs), Coeficiente de escorrentía (C), Números de curva (CN), Período de retorno (Tr)	
		Precipitaciones máximas de 24 horas: Número (Nro), Año	
		Precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)	
UBICACIÓN DEL PROYECTO		PARÁMETROS DE CUENCA (Procesados)	
UBICACIÓN POLÍTICA		Parámetros geomorfológicos: Coeficiente de Gravelius (Kc), Rectángulo equivalente (L) y (l), Factor Forma (Fl), Pendiente de la Cauce (Sca), Pendiente de la Cuenca (Scu), Relación de Elongación (Re), Relación de circularidad (Rci)	
DEPARTAMENTO:	Cuzco	Tiempos de concentración: Kirpich, Temez	
PROVINCIA:	La Convención	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS (Procesados)	
DISTRITO:	Kimbiri	- Prueba de datos dudosos (método de Water Resources Council).	
LOCALIDAD:	M.Baja, U.Rosales	- Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov -Smirnov.	
TRAMO:	0+00 @ 1-700	- Generación de precipitaciones máximas de 24 horas (PPmax).	
		- Determinar de la tormenta de diseño, Curvas (I-D-F) (Dick Peschke).	
		- Determinar de la tormenta de diseño, Curvas (I-D-F) (coeficiente de duración)	
UBICACIÓN POLÍTICA		CAUDALES MÁXIMOS (Procesados)	
ESTE:	454544	Método Racional (Qr), Racional modificado (Qt), Hidrograma unitario SCS (Qhu)	
NORTE:	84848451		
ALTITUD:	680		

Figura 3.7: Ventana de datos generales

La ventana de datos generales está diseñada para ingresar datos como: nombre del proyecto, ubicación política (departamento, provincia, distrito, localidad y tramo a evaluarse) y ubicación UTM (este, norte y altitud), además, cuenta con un resumen de las actividades desarrolladas en cada ventana.

3.3.3. Ventana de datos de entrada

Cuenta con dos sub – ventanas para importar y procesar los datos de características físicas de microcuencas como: cuenca, ubicación (Prog), área (A), perímetro(P), longitud de cauce (Lca), cota mayor de cauce (Cmca), cota mayor de cuenca (Cmca), cota de salida (Cs), coeficiente de escorrentía (C), numero de curva (CN), Periodo de retorno (Tr) y de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax).

a) Características físicas de microcuencas, coeficiente de escorrentía (C), numero de curva (CN), Periodo de retorno (Tr)

La selección de la ventana de características físicas de microcuencas, C, NC y Tr muestra la Figura 3. 8.

Tabla: Características físicas de las microcuencas, C, CN, Tr									
Item	Cuenca	Prog (km)	A (km2)	P (km)	Lca (m)	Cmca (msnm)	Cmcu (msnm)	Cs (msnm)	C
1	P-01	0+220	1.5300	6.7690	2.5560	1572	1579	919.0000	0.
2	A-01	0+340	0.0680	1.1640	0.2770	1011	1015	927.0000	0.
3	A-02	0+405	0.1310	1.8880	0.5400	1020	1039	923.0000	0.
4	A-03	0+460	0.0490	1.1010	0.2850	1.0013e+03	1.0073e+03	925.2100	0.
5	A-04	1+240	0.1250	1.8440	0.3330	984	989	909.5200	0.
6	A-05	1+340	0.0140	0.6430	0.1490	921	927	897.0000	0.
7	A-06	1+490	0.0440	0.9560	0.3410	964	973	886.5000	0.
8	A-07	1+600	0.0680	1.3810	0.3430	969	976	886.0000	0.
9	A-08	1+690	0.1580	1.7500	0.5200	992	1008	893.5000	0.

Figura 3.8: Ventana de características físicas de microcuencas, C, NC y Tr

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Botones para importar datos de formato txt o xlsx según el icono seleccionado.
- Tabla para mostrar los datos importados de características físicas de microcuencas, C, CN y Tr. el cual consta de 11 columnas para mostrar los datos importados en la siguiente orden: Cuenca, Prog (km), A (km²), P (km), Lca (km), Cmca (msnm), Cmcu (msnm), Cs (msnm), C, CN, Tr (años).

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

P (km): Perímetro, en kilómetros.

Lca (km): Longitud de cauce, en kilómetros.

Cmca (msnm): Cota mayor de cauce, en metros sobre el nivel del mar.

Cmcu (msnm): Cota mayor de cuenca, en metros sobre el nivel del mar.

Cs (msnm): Cota de salida, en metros sobre el nivel del mar.

C: Coeficiente de escorrentía.

CN: Numero de curva.

Tr (años): Periodo de retorno.

- Botones para editar datos de la tabla como agregar y eliminar.
- Celda para mostrar número de datos importados o modificados.

b) Precipitaciones máximas de 24 horas

La selección de la ventana de precipitaciones máximas de 24 horas muestra la Figura 3. 9.

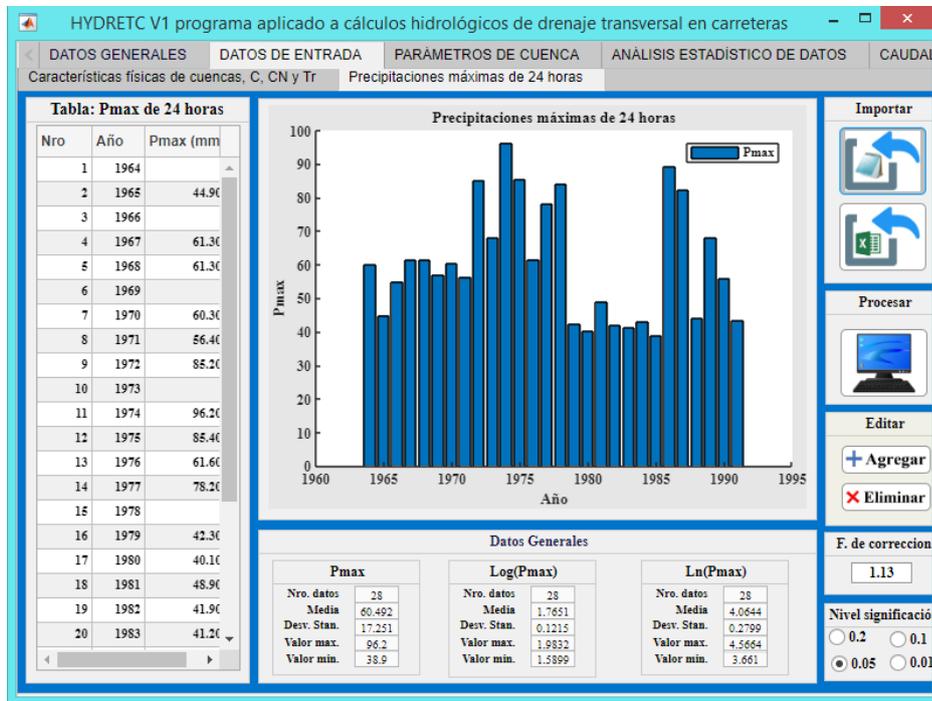


Figura 3.9: Ventana de precipitaciones máximas de 24 horas

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Botones para importar datos de formato txt o xlsx según el icono seleccionado.
- Tabla para mostrar los datos importados de precipitaciones máximas de 24 horas. el cual consta de 03 columnas para mostrar los datos importados en la siguiente orden: Nro, Año y Pmax (mm).

Donde:

Nro: Posición de dato.

Año: Año de registro.

Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en milímetros.

- Botones para editar datos de la tabla como agregar y eliminar.
- Celdas para mostrar resultados generales de precipitación máxima de 24 horas como: número de datos, media, desviación estándar, valor máximo, valor mínimo.

- Celda para ingresar dato de factor de corrección según el número de vistas o toma de datos de la estación meteorológica.
- Botones para seleccionar el nivel significancia para con la que se desea trabajar.
- Botón para procesar la información de cálculos hidrológicos de drenaje transversal de carreteras.

3.3.4. Parámetros de cuenca

Cuenta con dos sub – ventanas visualizar los parámetros geomorfológicos y tiempos de concentración.

a) Parámetros geomorfológicos

La selección de la ventana de parámetros geomorfológicos muestra la Figura 3.10.

Tabla: Parámetros geomorfológicos									
Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/m)
P-01	0+220	1.5300	6.7690	1.5432	2.8471	0.5374	0.1887	0.2555	0.231
A-01	0+340	0.0680	1.1640	1.2588	0.4202	0.1618	0.3852	0.3032	0.205
A-02	0+405	0.1310	1.8880	1.4710	0.7750	0.1690	0.2181	0.1796	0.145
A-03	0+460	0.0490	1.1010	1.4026	0.4388	0.1117	0.2544	0.2668	0.186
A-04	1+240	0.1250	1.8440	1.4708	0.7568	0.1652	0.2182	0.2237	0.105
A-05	1+340	0.0140	0.6430	1.5325	0.2696	0.0519	0.1927	0.1611	0.111
A-06	1+490	0.0440	0.9560	1.2852	0.3535	0.1245	0.3520	0.2273	0.244
A-07	1+600	0.0680	1.3810	1.4934	0.5715	0.1190	0.2082	0.2420	0.157
A-08	1+690	0.1580	1.7500	1.2415	0.6203	0.2547	0.4107	0.1894	0.184

Figura 3.10: Ventana de parámetros geomorfológicos

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de parámetros geomorfológicos que consta de 08 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Cuenca, Prog (km), A (km²), P (km), Kc (km), L (km), l (km), Fl, Sca (m/m), Scu (m/m), Re, Rci.

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

P (km): Perímetro, en kilómetros.

Kc: Índice de Gravelius

L (km): Rectángulo equivalente lado mayor, en kilómetros.

L (km): Rectángulo equivalente lado menor, en kilómetros.

Fl: Factor forma.

Sca (m/m): Pendiente de cauce, en metros sobre metros

Scu (m/m): Pendiente de cuenca, en metros sobre metros

Re: Relación de elongación.

Rci: Relación de circularidad.

- Celda para mostrar número de datos procesados.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

b) Tiempo de concentración

La selección de la ventana de tiempos de concentración muestra la Figura 3.11.

Cuenca	Prog (km)	Lca (m)	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Kirpich (min)	Kirpich (h)	Temez (min)
P-01	0+220	2.5560	0.2555	0.2318	13.8470	0.2308	47.6016
A-01	0+340	0.2770	0.3032	0.2094	2.3420	0.0390	8.5117
A-02	0+405	0.5400	0.1796	0.1497	4.7904	0.0798	15.6156
A-03	0+460	0.2850	0.2668	0.1869	2.5148	0.0419	8.9120
A-04	1+240	0.3330	0.2237	0.1050	3.0343	0.0506	10.3731
A-05	1+340	0.1490	0.1611	0.1113	1.8536	0.0309	5.9918
A-06	1+490	0.3410	0.2273	0.2447	3.0713	0.0512	10.5298
A-07	1+600	0.3430	0.2420	0.1575	3.0115	0.0502	10.4515
A-08	1+690	0.5200	0.1894	0.1846	4.5591	0.0760	15.0218

Figura 3.11: Ventana de tiempo de concentración

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de tiempos de concentración que consta de 09 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Cuenca, Prog (km), Lca (km), Sca (m/m), Scu (m/m), Kirpich (min), Kirpich (h), Temez (min), Temez (h).

Donde:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- Sca (m/m): Pendiente de cauce, en metros sobre metros.
- Scu (m/m): Pendiente de cuenca, en metros sobre metros.
- Kirpich (min): Tiempo de concentración.
- Kirpich (h): Tiempo de concentración.
- Temez (min): Tiempo de concentración.
- Temez (hr): Tiempo de concentración.

- Celda para mostrar número de datos procesados.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

3.3.5. Análisis estadístico de datos hidrológicos

Cuenta con 05 sub – ventanas visualizar los resultados de prueba de datos dudosos por el Método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov mediante las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno mediante las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, cálculo de la tormenta de diseño curvas I-D-F con los método de Dick Peschke y Coeficiente de duración.

a) Prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council

La selección de la ventana datos dudosos (prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council) muestra la Figura 3.12.

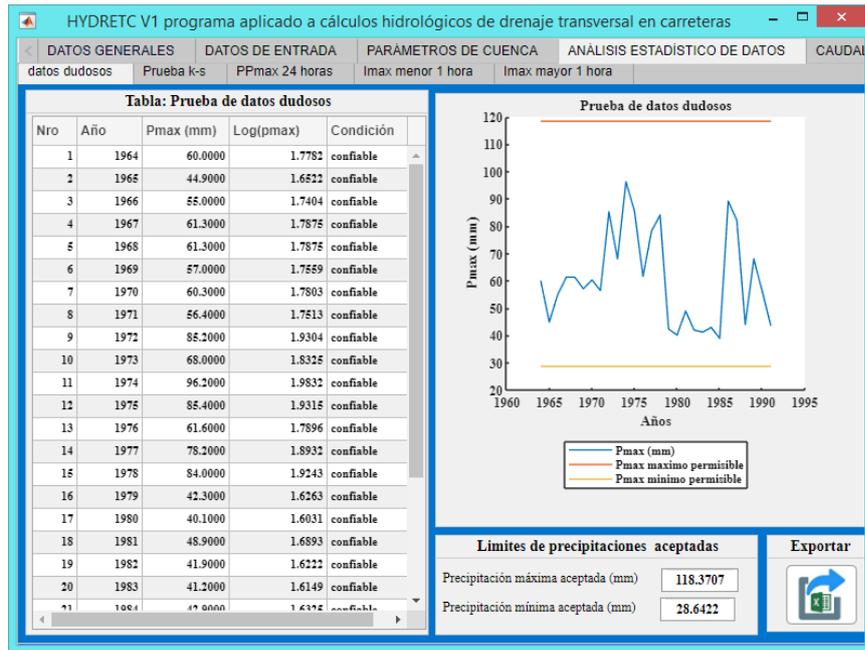


Figura 3.12: Ventana de prueba de datos dudosos por el método de Water Resources Council

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de prueba de datos dudosos que consta de 05 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Nro, año, Pmax (mm), Log(Pmax), Condición.

Donde:

Nro: Posición de dato.

Año: Año de registro.

Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en milímetros.

Log (Pmax): Logaritmo de Precipitaciones máximas de 24 horas.

Condición: Condición de dato confiable y/o atípico.

- Gráfico de la prueba de datos dudosos que está en función a los datos de precipitación y límites máximo y mínimos aceptables que facilita la interpretación de los datos.
- Celda de resultados de límites máximo y mínimos aceptables.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

b) Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

La selección de la ventana de prueba K-S (prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov) muestra la Figura 3.13.

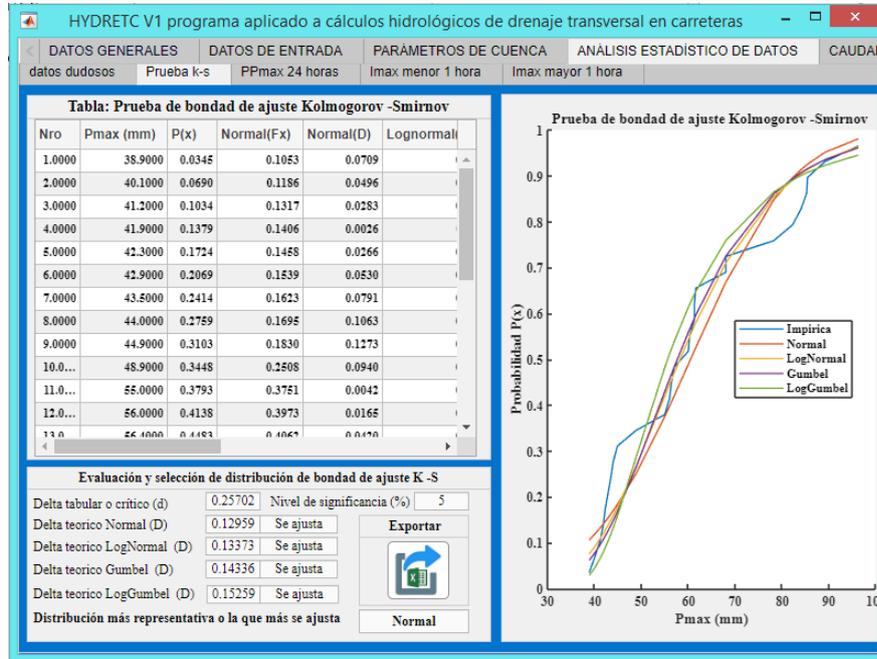


Figura 3.13: Ventana de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov que consta de 11 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Nro, Pmax (mm), P(x), Normal (Fx), Normal (D), LogNormal (Fx), LogNormal (D), Gumbel (Fx), Gumbel (D), LogGumbel (Fx), LogGumbel (D).

Donde:

- Nro: Posición de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en (mm), ordenados ascendentemente.
- P(x): Probabilidad observada.
- Normal (Fx): Probabilidad estimada con la distribución Normal.
- Normal (D): Diferencia entre P(x) y Normal (Fx).
- LogNormal (Fx): Probabilidad estimada con la distribución LogNormal.

LogNormal (D): Diferencia entre $P(x)$ y LogNormal (Fx).

Gumbel (Fx): Probabilidad estimada con la distribución Gumbel.

Gumbel (D): Diferencia entre $P(x)$ y Gumbel (Fx).

LogGumbel (Fx): Probabilidad estimada con la distribución LogGumbel.

LogGumbel (D): Diferencia entre $P(x)$ y LogGumbel (Fx).

- Gráfico de la prueba en función a los datos de probabilidad observada y estimada con cada una de las distribuciones mencionadas que facilita la interpretación de los datos.
- Celdas de evaluación y selección de la distribución más representativa o la que más se ajusta, de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

c) Generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno.

La selección de la ventana de PPmax 24 horas (generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno.) muestra la Figura 3.14.

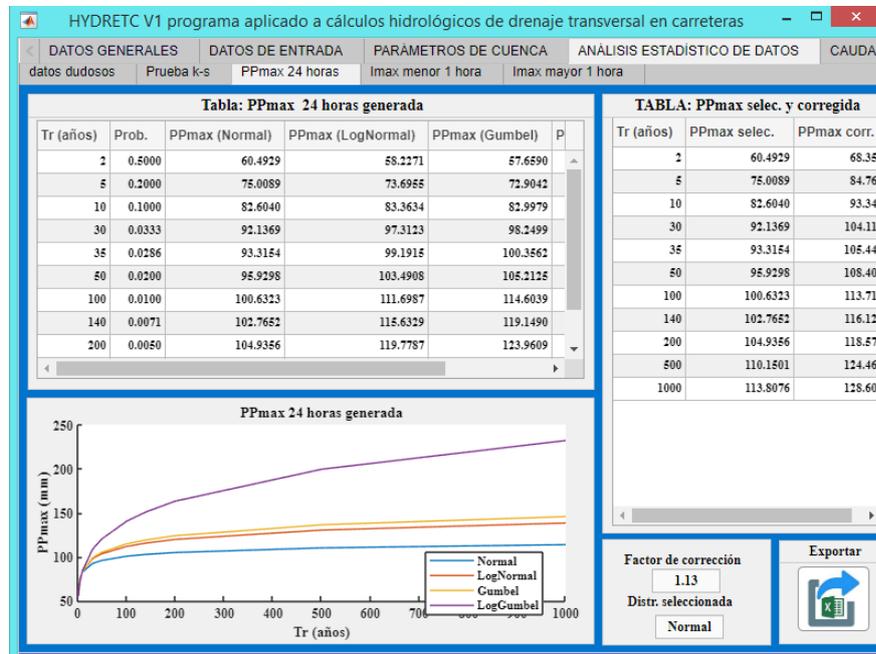


Figura 3.14: Ventana de generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno.)

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de Generación de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno que consta de 06 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Tr (años), Prob, PPmax (Normal), PPmax (LogNormal), PPmax (Gumbel), PPmax (LogGumbel).

Donde:

Tr (años): Periodo de retorno.

Prob: Probabilidad de ocurrencia.

PPmax (Normal): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución Normal.

PPmax (LogNormal): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución LogNormal.

PPmax (Gumbel): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución Gumbel.

PPmax (LogGumbel): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución LogGumbel.

- Mostrar tabla de precipitación máxima de 24 horas seleccionada y corregida.

Donde:

Tr (años): Periodo de retorno.

PPmax selec.: Precipitación máxima seleccionada, en milímetros.

PPmax corr.: Precipitación máxima corregida, en milímetros.

- Gráfico de precipitaciones máximas generadas en función al periodo de retorno y precipitaciones máximas generadas para facilitar la interpretación de los datos.
- Celda para mostrar resultado de la distribución seleccionada y factor de corrección de la precipitación.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

d) Cálculo de tormenta de diseño curvas I-D-F

d.1) Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke)

La selección de la ventana de I_{max} menor a 1 hora (curvas I-D-F menores a una hora con el método de Dick Peschke) muestra la Figura 3.15.

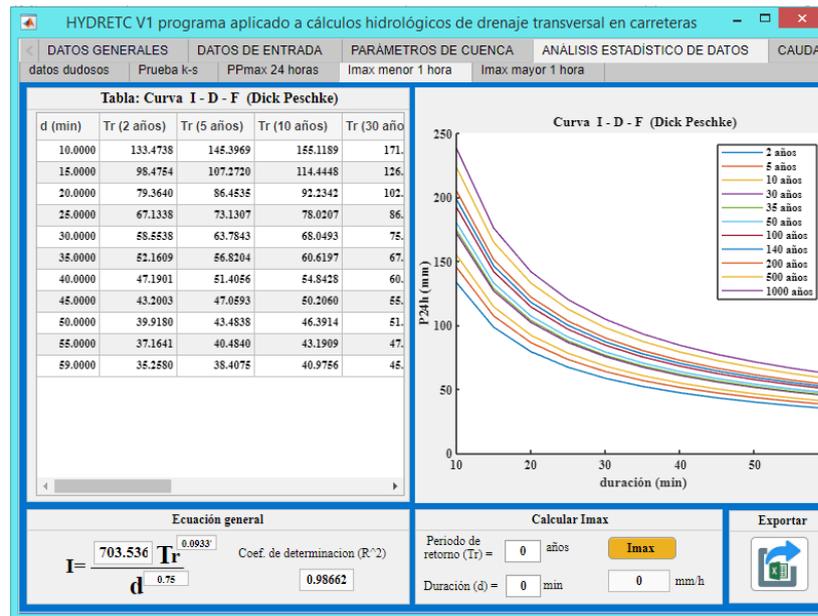


Figura 3.15: Ventana de curvas I-D-F menores a una hora con el método de Dick Peschke

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de curvas I-D-F menores a una hora con el método de Dick Peschke, que consta de 12 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: d (min), Tr (2 años), Tr (5 años), Tr (10 años), Tr (30 años), Tr (35 años), Tr (50 años), Tr (100 años), Tr (140 años), Tr (200 años), Tr (500 años), Tr (1000 años).

Donde:

d(min): Duración de tormenta, en minutos.

Tr (2 años): Periodo de retorno de 2 años.

Tr (5 años): Periodo de retorno de 5 años.

Tr (10 años): Periodo de retorno de 10 años.

Tr (30 años): Periodo de retorno de 30 años.

Tr (35 años): Periodo de retorno de 35 años.
 Tr (50 años): Periodo de retorno de 50 años.
 Tr (100 años): Periodo de retorno de 100 años.
 Tr (140 años): Periodo de retorno de 140 años.
 Tr (200 años): Periodo de retorno de 200 años.
 Tr (500 años): Periodo de retorno de 500 años.
 Tr (1000 años): Periodo de retorno de 1000 años.

- Gráfico de curvas I-D-F menores a una hora con el método Dick Peschke, en función a la duración y precipitaciones máximas de 24 horas para facilitar la interpretación de los datos.
- Ecuación general de intensidades máximas.
- Celdas para calcular la intensidad máxima.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

d.2) Curvas I-D-F mayores a una hora (Coeficiente de duración)

La selección de la ventana de I_{max} mayor a 1 hora (curvas I-D-F mayores a una hora con el método de coeficiente de duración) muestra la Figura 3.16.

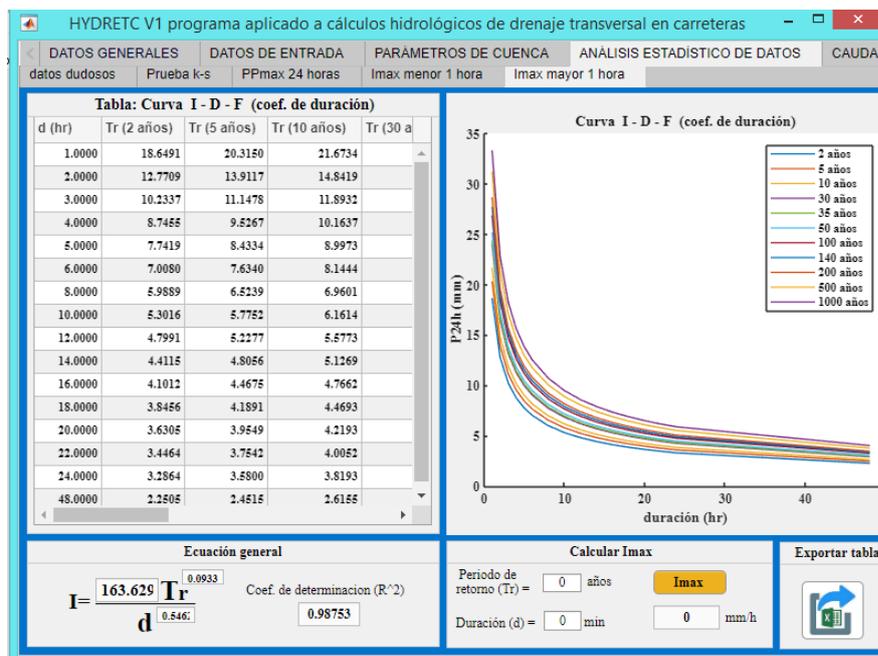


Figura 3.16: Ventana de curvas I-D-F mayores a una hora con el método de coeficiente de duración

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de curvas I-D-F mayores a una hora con el método coeficiente de duración, que consta de 12 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: d (h), Tr (2 años), Tr (5 años), Tr (10 años), Tr (30 años), Tr (35 años), Tr (50 años), Tr (100 años), Tr (140 años), Tr (200 años), Tr (500 años), Tr (1000 años).

Donde:

d (h): Duración de tormenta, en horas.

Tr (2 años): Periodo de retorno de 2 años.

Tr (5 años): Periodo de retorno de 5 años.

Tr (10 años): Periodo de retorno de 10 años.

Tr (30 años): Periodo de retorno de 30 años.

Tr (35 años): Periodo de retorno de 35 años.

Tr (50 años): Periodo de retorno de 50 años.

Tr (100 años): Periodo de retorno de 100 años.

Tr (140 años): Periodo de retorno de 140 años.

Tr (200 años): Periodo de retorno de 200 años.

Tr (500 años): Periodo de retorno de 500 años.

Tr (1000 años): Periodo de retorno de 1000 años.

- Gráfico de curvas I-D-F mayores a una hora con el método Coeficiente de duración, en función a la duración y precipitaciones máximas de 24 horas para facilitar la interpretación de los datos.
- Ecuación general de intensidades máximas.
- Celdas para calcular la intensidad máxima.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

3.3.6. Caudales máximos

Ventana de caudales máximos que consta de 03 sub-ventanas para visualizar los resultados de cálculo de caudales máximos, con los métodos el método de racional, racional modificado e hidrograma unitario triangular del SCS.

a) Método racional

La selección de la ventana de racional (Qr) (caudales máximos con el método racional) muestra la Figura 3.17.

Tabla: Caudales máximos método racional (Qr)							
Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	Tc (min)	Tr (años)	I (mm/hr)	C	Qr (m ³ /s)
P-01	0+220	1.5300	13.8470	140	186.2746	0.4000	26.4525
A-01	0+340	0.0680	10.0000	71	186.2746	0.4000	1.4085
A-02	0+405	0.1310	10.0000	71	186.2746	0.4000	2.7135
A-03	0+460	0.0490	10.0000	71	186.2746	0.4000	1.0150
A-04	1+240	0.1250	10.0000	71	186.2746	0.4000	2.5892
A-05	1+340	0.0140	10.0000	71	186.2746	0.4000	0.2900
A-06	1+490	0.0440	10.0000	71	186.2746	0.4000	0.9114
A-07	1+600	0.0680	10.0000	71	186.2746	0.4000	1.4085
A-08	1+690	0.1580	10.0000	71	186.2746	0.4000	3.2728

Figura 3.17: Ventana de caudales máximos con el método racional (Qr)

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de caudales máximo con el método racional, que consta de 08 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Cuenca, Prog (km), A (km²), Tc (min), Tr (años), I(mm/h), C, Qr (m³/s).

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

Tc (min): Tiempo de concentración, en minutos con el método Kirpich.

Tr (años): Periodo de retorno.

I (mm/h): Intensidades máximas, en milímetros por hora.

C: Coeficiente de escorrentía.

Qr (m³/s): Caudal máximo con el método racional, en metros cúbicos por segundo.

- Celda para mostrar número de datos procesados.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

b) Método racional Modificado o Temez

La selección de la ventana de racional modificado (Qt) (caudales máximos con el método racional modificado o Temez) muestra la Figura 3.18.

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	Tc (min)	Tr (años)	CN	K	Ka	P24h (mm)	P (mm)
P-01	0-220	1.5300	0.7934	140	77	1.0508	0.9877	114.5849	113.17
A-01	0-340	0.0680	0.1667	71	77	1.0075	1.0778	107.5457	115.91
A-02	0-405	0.1310	0.2603	71	77	1.0131	1.0588	107.5457	113.87
A-03	0-460	0.0490	0.1667	71	77	1.0075	1.0873	107.5457	116.93
A-04	1-240	0.1250	0.1729	71	77	1.0079	1.0602	107.5457	114.02
A-05	1-340	0.0140	0.1667	71	77	1.0075	1.1236	107.5457	120.83
A-06	1-490	0.0440	0.1755	71	77	1.0080	1.0904	107.5457	117.27
A-07	1-600	0.0680	0.1742	71	77	1.0080	1.0778	107.5457	115.91
A-08	1-690	0.1580	0.2504	71	77	1.0125	1.0534	107.5457	113.29

Figura 3.18: Ventana de caudales máximos con el método racional modificado o Temez (Qt)

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de caudales máximo con el método racional modificado o Temez, que consta de 13 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Cuenca, Prog (km), A (km²), Tc (min), Tr (años), K, KA, P24h (mm), P (mm), I (mm), Po, C, Qt (m³/s).

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

Tc (h): Tiempo de concentración, en horas con él método Temez.

- Tr (años): Período de retorno.
- K: Coeficiente de Uniformidad.
- KA: Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor.
- P24h (mm): Precipitación máxima de 24 horas, en milímetros.
- P (mm): Precipitación máxima corregida, en milímetros.
- I(mm/h): Intensidad de Precipitación, en milímetros por hora.
- Po: Umbral de escorrentía.
- C: Coeficiente de Escorrentía.
- Qt (m³/s): Caudales máximos con el método racional modificado o Temez, en metros cúbicos por segundo.

- Celda para mostrar número de datos procesados.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

c) Método hidrograma unitario triangular del SCS

La selección de la ventana de hidrograma unitario SCS (Qhut) (caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS) muestra la Figura 3.19.

Cuenca	Prog (km)	A (km2)	Tc (min)	Tr (años)	CN	P24h (mm)	Pe (mm)	de (hr)	tr (años)
P-01	0+220	1.5300	0.2308	140	77	114.5849	56.3810	0.9608	
A-01	0+340	0.0680	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	
A-02	0+405	0.1310	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	
A-03	0+460	0.0490	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	
A-04	1+240	0.1250	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	
A-05	1+340	0.0140	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	
A-06	1+490	0.0440	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	
A-07	1+600	0.0680	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	
A-08	1+690	0.1580	0.1667	71	77	107.5487	50.7158	0.8165	

Figura 3.19: Ventana de caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular del SCS (Qhut)

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de caudales máximo con el método hidrograma unitario triangular del SCS, que consta de 14 columnas para mostrar los resultados en la siguiente orden: Cuenca, Prog (km), A (km²), Tc (min), Tr (años), CN, P24h (mm), Pe (mm), De (h), tr (h), Tp (h), Tre (h), Tb (h), Qhut (m³/s).

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

Tc (min): Tiempo de concentración, en minutos con el método Kirpich.

Tr (años): Periodo de retorno.

CN: Numero de curva.

P24h (mm): Precipitación máxima de 24 horas, en milímetros.

Pe (mm): Precipitación efectiva, en milímetros.

de (h): Duración en exceso, en horas.

tr (h): Tiempo de retraso, en horas.

Tp (h): Tiempo pico, en horas.

Tre (h): Tiempo de recisión, en horas.

Tb (h): Tiempo base, en horas.

Qhut (m³/s): Caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular, en metros cúbicos por segundo.

- Celda para mostrar número de datos procesados.
- Botón para exportar datos de la tabla en formato xlsx.

3.3.7. Resumen

La selección de la ventana de resumen muestra la Figura 3.20.

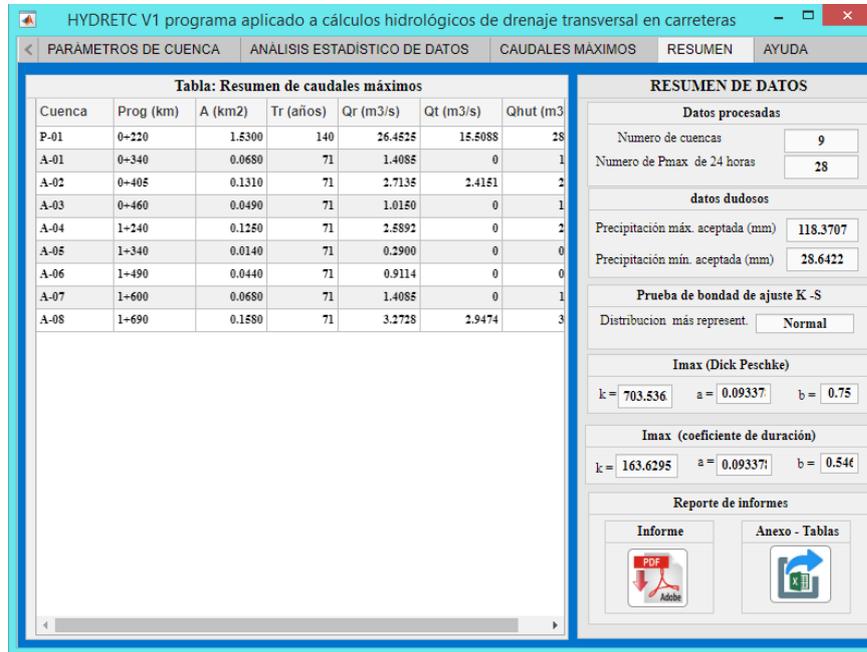


Figura 3.20: Ventana de resumen

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Tabla de resumen de caudales máximos, que consta de 07 columnas para mostrar. los resultados en la siguiente orden: Cuenca, Prog (km), A (km²), P (km), Qr (m³/s), Qt (m³/s), Qhut (m³/s).

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

P (km): Perímetro, en kilómetros.

Qr (m³/s): Caudal máximo con el método racional, en metros cúbicos por segundo.

Qt (m³/s): Caudales máximos con el método racional modificado o Temez, en metros cúbicos por segundo.

Qhut (m³/s): Caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular, en metros cúbicos por segundo.

- Celdas para mostrar resumen de datos como: número de datos procesados, resultado de datos dudosos, distribución más representa de la prueba Kolmogorov – Smirnov, parámetros de ecuación general de intensidades máximas de los métodos de Dick Peschke y coeficientes de duración.
- Botón para reportar informe en formato pdf y anexos de tabla en formato xlsx.

3.3.8. Ayuda

La selección de la ventana de ayuda muestra la Figura 3.21.

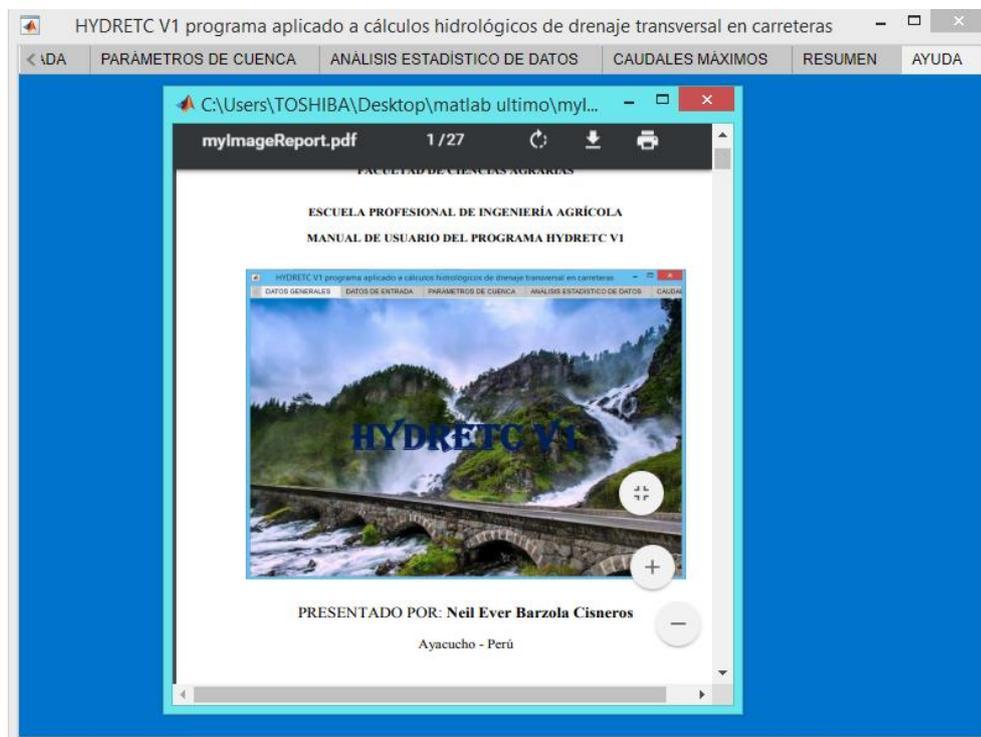


Figura 3.21: Ventana de ayuda

Esta ventana cuenta con las siguientes componentes.

- Muestra el manual de usuario para facilitar el manejo del programa.

CONCLUSIONES

1. En el presente trabajo de investigación se desarrolló el programa HYDRETC V1, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras, que optimiza el tiempo de cálculo y proporciona resultados confiables, mediante la vinculación de algoritmos y validación de resultados.
2. La vinculación de algoritmos en MATLAB, optimizó en promedio de 95% de tiempo en los procesos de cálculo de parámetros de cuenca, análisis estadísticos de datos hidrológicos y cálculo de caudales máximos de una forma sistemática.
3. Los resultados del programa HYDRETC V1, fueron comparados con los resultados obtenidos con el programa Hidroesta y con hojas de cálculo en Microsoft Excel, encontrándose una semejanza del 100%, lo cual le otorga validez y confianza.
4. El programa HYDRETC V1, consta de un interfaz gráfico funcional y concisa conformado con herramientas básicos para, importar, procesar, exportar y reportar un informe preliminar, que facilita el manejo al usuario.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una adecuada recolección de información de características físicas de microcuencas, coeficiente de escurrimiento (C), número de curva (CN), período de retorno (Tr) y selección de estaciones meteorológicas a utilizarse y tener cuidado al momento de ingreso de datos en el orden y unidad, para garantizar la confiabilidad de los resultados.
2. Se recomienda procesar la información cada vez que se importe, edite o elimine o agregue los datos de entrada, además, se recomienda modificar el encabezado de las tablas exportadas, ya que el programa HYDRETC V1, tiene limitaciones para reconocer algunas letras.
3. Se recomienda desarrollar como complemento un programa para cálculo hidráulicos de drenaje transversal en carreteras, teniendo como base los resultados del programa HYDRETC V1.
4. Se recomienda el uso de programa HYDRETC V1, a los consultores, estudiantes y público en general, interesados en cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras, ya que a través de ello se optimiza el tiempo de cálculo y se obtienen resultados confiables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Mexico: Limusa.
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología*. Tesis para optar al diploma académico de Licenciatura en Ingeniería Civil, presentado ante la Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba - Bolivia.
- Campos, J., Diaz, S., Galán, Á., & González, J. (2018). *Priorización de inversiones en el mantenimiento de obras de drenaje transversal basado en la cuantificación del riesgo*. Ciudad Real - España.
- Castillo, E. (2017). *Evaluación hidrológica e hidráulica de los drenajes transversales en la carretera Cocahuayco – Cocachimba – Bongará – Amazonas*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, presentado ante la universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca - Perú.
- Chagua, J. (2018). *Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS*. Tesis para optar el título profesional en Ingeniería Civil, presentado ante la Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima - Perú.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima - Perú.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia.: NOMOS S.A.
- Chúa, A. (2017). *Desarrollo y calibración de un sistema informático para el análisis de tormentas, máximas avenidas y generación de lluvia escorrentía*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, presentado ante la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima - Perú.
- Cubillos, F. (2013). *Apuntes introducción a MATLAB*. Santiago de Chile - Chile.
- Definiciones y Explicaciones. (s/n). 1-4. Obtenido de <https://www.inec.gob.pa/Archivos/P279105definicion.pdf>
- Estuardo, A. (2012). *Estadística y probabilidades*. Universidad Católica de la Santísima Concepción - Chile.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño hidrológico*. Zaragoza - España.
- Gamez, W. (2010). *Texto básico de hidrología*. Managua, Nicaragua: Editronic, S.A.

- Giner, S. (2008). *Entorno interactivo de cálculo y visualización vinculado a un lenguaje de programación de alto nivel*. La Plata - Argentina.
- Hernández , N., Medina , J., & Seck Tuoh, J. (2012). *Introducción a MATLAB para resolver problemas de Ingeniería aplicando algoritmos genéticos*. Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5904/libro_matlab.pdf.
- Lux, B. (2012). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Presentado ante la Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Marín, E., & Pérez , M. (2014). *Drenaje y subdrenaje en carreteras*. tesis para optar el título de Ingeniero Civil, presentado Ante El Instituto Politecnico Nacional, Mexico.
- Martinez, H. (2019). *Evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuenca del río Sayacc, Vischongo -Vilcashuamán - Ayacucho, 2018*. Tesis para optar el título de Ingeniero agrícola, presentado ante la Universidad Nacional San Cristóbal De Huamanga, Huamanga - Perú.
- Maza, O. (2017). *Evaluación del dimensionamiento de los drenajes transversales de la vía santa rosa huaquillas, mediante la complementación de herramientas computacionales*. tesis para optar el título de Ingeniero Civil, presentado ante la ante la Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
- Mejia , A. (2006). *Hidrologia aplicada*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Colombia: Escuela Colombiana De Ingeniería.
- MTC. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (Ministerio de transportes y comunicaciones)*. Lima - Perú.
- NORMA 5.2-IC. (2016). *Drenaje superficial, (Ministerio de obras públicas y urbanismo)*. España.
- NORMA OS.060. (2021). *Modificación de la norma técnica os.060 drenaje pluvial urbano a norma técnica CE.040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones*. Lima - Perú.
- Pérez, C. (2002). *MATLAB y sus aplicaciones en las ciencias y la ingeniería*. Madrid: España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Perez, G. (2015). *Manual de hidrologia aplicada*. Lima - Perú.
- Pérez, G., & Rodríguez, A. (2009). *Apuntes de hidrología superficial*. México.
- Pino Vargas, E. M. (2019). *Desarrollo de un programa computacional especializado para ingeniería hidráulica e hidrológica "S-Hidro y 1.0"*. Lima.

- Rodríguez, L. (2014). *MATLAB Programación*. Escuela Superior Politécnica del Litoral Espol Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.
- Vargas Chalas, S. M. (2017). *Caracterización y estimación de precipitación máxima probable diaria en las cuencas de los ríos Adaja Y Zapardiel (Acuífero De Mediana Del Campo, Cuenca Del Duero España)*. Trabajo fin de Master, presentado ante la Universidad Politécnica de Madrid - España.
- Vílchez, T. (2015). *Modelación hidrodinámica de sistemas de drenaje pluvial con el método de elementos finitos y Mat Lab*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, presentado ante la Universidad Nacional San Cristóbal De Huamanga, Huamanga - Perú.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Primera edición, Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Villón, M. (2012). *Hidroesta 2 cálculos hidrológicos*. Lima,peru: Editorial Villon.

ANEXOS

Operacionalización las variables

Operacionalización las variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	INDICADOR	
1. VARIABLE INDEPENDIENTE				
X: Programa en MATLAB	-----	Adimensional	X1: Lenguaje y códigos en MATLAB.	
2.VARIABLES DEPENDIENTES				
Cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras.	<ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc), • Rectángulo equivalente lado mayor (L) y lado menor (l) • Factor forma (Fi) • Pendiente de cauce (Sca) • Pendiente de cuenca (Scu) • Relación de elongación (Re) • Relación de circularidad (Rci) • Tiempo de concentración 	<ul style="list-style-type: none"> Adimensional km Adimensional m/m m/m Adimensional Adimensional min y h 	Y1: Parámetros geomorfológicos de microcuenca y/o áreas de aporte	
	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba de datos dudosos 	<ul style="list-style-type: none"> Adimensional 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Generación precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno 	<ul style="list-style-type: none"> mm 		Y2: Análisis estadísticos de datos hidrológicos (precipitación máxima de 24 horas)
	<ul style="list-style-type: none"> • Tormenta de diseño curvas I-D-F 	<ul style="list-style-type: none"> mm/h 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Método racional 	<ul style="list-style-type: none"> m³/s 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Método racional modificado 	<ul style="list-style-type: none"> m³/s 		Y3: Caudales máximos
	<ul style="list-style-type: none"> • Método hidrograma unitario triangular del SCS 	<ul style="list-style-type: none"> m³/s 		

Algoritmos de programación

1. DATOS DE ENTRADA

1.1. Características físicas de cuencas, C, CN y Tr

```
[archivo,ruta]=uigetfile('* .txt','ABRIR DATOS ');
if archivo==0
return;
else
fid =fopen([ruta archivo], 'r');
BZ=textscan(fid,'%s %s %s','headerlines',0);
uj1=BZ{1};
uj1(1,:)=[];
tff=uj1;
uj2=BZ{2};
uj2(1,:)=[];
uj3=BZ{3};
uj3(1,:)=[];
uj4=BZ{4};
uj4(1,:)=[];
uj5=BZ{5};
uj5(1,:)=[];
uj6=BZ{6};
uj6(1,:)=[];
uj7=BZ{7};
uj7(1,:)=[];
uj8=BZ{8};
uj8(1,:)=[];
uj9=BZ{9};
uj9(1,:)=[];
uj10=BZ{10};
uj10(1,:)=[];
uj11=BZ{11};
uj11(1,:)=[];
BZ= [ uj2 uj3 uj4 uj5 uj6 uj7 uj8 uj9 uj10 uj11];
bz1=size(BZ);
bz1=bz1(1,1);
for j=1:bz1;
for i=1:10;
olp= BZ(j,i);
olp=olp{1};
olp=str2double(olp);
BZb(j,i)=olp;
end
end
BZ=BZb;
bz1=size(BZ);
bz1=bz1(1,1);
progre={};
```

```

pgr=BZ(:,1);
for j=1:bz1;
    prg1=pgr(j,1);
    prg2=round(prg1);
    prg3=prg2-prg1;
    if prg3>0;
        kmm=prg2-1 ;
        mmm=(prg1-kmm)*1000;
        kmm=num2str(kmm);
        mmm1=num2str(round(mmm));

        if mmm<100;
            ppgg=strcat(kmm,'+0',mmm1);
        else
            ppgg=strcat(kmm,'+',mmm1);
        end
    else
        kmm=prg2;
        mmm=(prg1-kmm)*1000;
        kmm=num2str(kmm);
        mmm1=num2str(round(mmm));

        if mmm<100;
            ppgg=strcat(kmm,'+0',mmm1);
        else
            ppgg=strcat(kmm,'+',mmm1);
        end
    end
    end
    progre(j,1)={ppgg};
end
fclose(fid);
end
bz1=size(BZ);
bz1=bz1(1,1);
%crea ceros en nombre de cuencas
BJR = zeros(bz1,1);
BZ = [BJR BZ];
%cierra creación de nombre de cuencas
bz1=size(BZ);
bz1=bz1(1,1);
bz2=BZ(1,11);
if bz2>0;
app.EditField.Value = string(bz1);
GB=zeros(bz1,1);
BZa=BZ;
BZa=horzcat(GB,BZa);
for j=1:bz1;
    BZa(j,1)=j;
end
%% %% %% TABLA UNIFICADA ARA SOLO MOSTRAR DATOS
LKP1=BZa(:,1);
LKP4=BZa(:,4);

```

```

LKP5=BZa(:,5);
LKP6=BZa(:,6);
LKP7=BZa(:,7);
LKP8=BZa(:,8);
LKP9=BZa(:,9);
LKP10=BZa(:,10);
LKP11=BZa(:,11);
LKP12=BZa(:,12);
BZa = table(LKP1,tff,progre,LKP4,LKP5,LKP6,LKP7,LKP8,LKP9,LKP10,LKP11,LKP12);
%% %% %% TABLA UNIFICADA PARA SOLO MOSTRAR DATOS
app.UITable14.Data = BZa;
else
    msgbox('Datos incoherentes', 'Error','error');
end
rtm1=1;

```

1.2. Precipitaciones máximas de 24 horas

```

[archivo,ruta]=uigetfile('*.txt','ABRIR DATOS ');
if archivo==0
return;
else
fid =fopen([ruta archivo], 'r');
BZ1=textscan(fid,'%s %s %s','headerlines',0);
up1=BZ1{1};
up1(1,:)=[];
up2=BZ1{2};
up2(1,:)=[];
up3=BZ1{3};
up3(1,:)=[];
BZ1= [ up1 up2 up3];
BZ1= str2double(BZ1);
end
bz1=size(BZ1);
bz1=bz1(1,1);
bz2=BZ1(1,1);
bz3=BZ1(2,1);
bz4=BZ1(3,1);
jkli=bz3-bz2;
jkli2=bz4-bz3;
if jkli<3 & jkli2<3

    bz3=2;
else
bz3=0;
end
if bz3>0;
app.UITable15.Data = BZ1;
xx=BZ1(:,2);
yy=BZ1(:,3);
bar(app.UIAxes6,xx,yy);
legend(app.UIAxes6,'Pmax')

```

2. Proceso

```
CG1=CG;
for PG=1:N
format shortg
CG1(PG,12)= CG1(PG,7)-CG1(PG,8);
CG1(PG,13)= (CG1(PG,7)+CG1(PG,8))/2;
CG1(PG,14)= .282*(CG1(PG,4)/(CG1(PG,3))^0.5);
CG1(PG,15)=(CG1(PG,14)*(CG1(PG,3)^0.5/1.128)*(1+(1-(1.128/CG1(PG,14))^2)^0.5));
CG1(PG,16)=(CG1(PG,14)*(CG1(PG,3)^0.5/1.128)*(1-(1-(1.128/CG1(PG,14))^2)^0.5));
CG1(PG,17)=CG1(PG,3)/(CG1(PG,15))^2;
CG1(PG,18)=((CG1(PG,6)-CG1(PG,8))/(CG1(PG,5)*1000));
CG1(PG,19)=((CG1(PG,7)-CG1(PG,8))/(CG1(PG,15)*1000));
CG1(PG,20)=1.1284*(CG1(PG,3))^0.5/(CG1(PG,15));
CG1(PG,21)=4*pi()*CG1(PG,3)/CG1(PG,4)^2;
CG1(PG,22)= 0.01947*(CG1(PG,5)*1000)^0.77*CG1(PG,18)^-0.385;
CG1(PG,23)= (0.3*((CG1(PG,5))/CG1(PG,18)^0.25)^0.76)*60;
CG1(PG,24)= ((0.0136*CG1(PG,5)^0.8*(1000/CG1(PG,11)-9)^0.7)/CG1(PG,19)^0.5);
end
%%%%%%%%% TABLA 02: PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS.....
PG1=zeros(N,1);
PG1(:,1)=CG1(:,1);
PG1(:,2)=CG1(:,2) ;
PG1(:,3)=CG1(:,3);
PG1(:,4)=CG1(:,4) ;
PG1(:,5)=CG1(:,14);
PG1(:,6)=CG1(:,15);
PG1(:,7)=CG1(:,16);
PG1(:,8)=CG1(:,17);
PG1(:,9)=CG1(:,18);
PG1(:,10)=CG1(:,19);
PG1(:,11)=CG1(:,20);
PG1(:,12)=CG1(:,21);
%%%%%%%%% TABLA 03: TIEMPO DE CONCENTRACION.....
Tc=zeros(N,1);
Tc(:,1)=CG1(:,1);
Tc(:,2)=CG1(:,2) ;
Tc(:,3)=CG1(:,5) ;
Tc(:,4)=CG1(:,18) ;
Tc(:,5)=CG1(:,19) ;
Tc(:,6)=CG1(:,22);
Tc(:,7)=CG1(:,22)/60;
Tc(:,8)=CG1(:,23);
Tc(:,9)=CG1(:,23)/60;
%Tc(:,7)=CG1(:,24);
%Tc(:,8)=CG1(:,24)/60;
%TABLA 04 = PRECIPITACIONES .....
format shortg
n=size(PP);
n=n(1,1);
PP1=PP;
for LL=1:n
PP1(LL,4)=log10(PP1(LL,3));
```

```

PP1(LL,5)=log(PP1(LL,3));
end
% TABLA 05 DATOS GENERALES
DG=zeros(n,1);
DG(:,1)=PP1(:,1);
DG(:,2)=PP1(:,2);
DG(:,3)=PP1(:,3);
DG(:,4)=PP1(:,4);
DG(:,5)=PP1(:,5);
%DATOS GENERALES NORMAL
NDATOS=n;
MAX1=max(PP1(:,3));
MIN1=min(PP1(:,3));
PROM1=mean(PP1(:,3));
DESV1=std(PP1(:,3));
ft=0;
for LL=1:n
ft =((PP1(LL,3)-PROM1)/DESV1)^3+ft;
end
COEAS1=n/((n-1)*(n-2))*ft;
%DATOS GENERALES LOG NORMAL
MAX2=max(PP1(:,4));
MIN2=min(PP1(:,4));
PROM2=mean(PP1(:,4));
DESV2=std(PP1(:,4));
ft=0;
for LL=1:n
ft =((PP1(LL,4)-PROM2)/DESV2)^3+ft;
end
COEAS2=n/((n-1)*(n-2))*ft;
%DATOS GENERALES LN NORMAL
MAX3=max(PP1(:,5));
MIN3=min(PP1(:,5));
PROM3=mean(PP1(:,5));
DESV3=std(PP1(:,5));
ft=0;
for LL=1:n
ft =((PP1(LL,5)-PROM3)/DESV3)^3+ft;
end
COEAS3=n/((n-1)*(n-2))*ft;
%PARAMETROS GUMBEL
ALF1=((pi/(6^0.5*DESV1)));
BET1=PROM1-0.45*DESV1;
%PARAMETROS LOG-GUMBEL
ALF2=6^0.5/pi()*(DESV3);
BET2=PROM3-0.5772156649*ALF2;
%PARAMETROS DE DATOS DUDOSOS
DD= [10 2.036;
11 2.088
12 2.134
13 2.175
14 2.213

```

15 2.247
16 2.279
17 2.309
18 2.335
19 2.361
20 2.385
21 2.408
22 2.429
23 2.448
24 2.467
25 2.486
26 2.502
27 2.519
28 2.534
29 2.549
30 2.563
31 2.577
32 2.591
33 2.604
34 2.616
35 2.628
36 2.639
37 2.65
38 2.661
39 2.671
40 2.682
41 2.692
42 2.7
43 2.71
44 2.719
45 2.727
46 2.736
47 2.744
48 2.753
49 2.76
50 2.768
51 2.7752
52 2.7824
53 2.7896
54 2.7968
55 2.804
56 2.8106
57 2.8172
58 2.8238
59 2.8304
60 2.837
61 2.8428
62 2.8486
63 2.8544
64 2.8602
65 2.866
66 2.8714

67 2.8768
68 2.8822
69 2.8876
70 2.893
71 2.8978
72 2.9026
73 2.9074
74 2.9122
75 2.917
76 2.9216
77 2.9262
78 2.9308
79 2.9354
80 2.94
81 2.9442
82 2.9484
83 2.9526
84 2.9568
85 2.961
86 2.965
87 2.969
88 2.973
89 2.977
90 2.981
91 2.9848
92 2.9886
93 2.9924
94 2.9962
95 3
96 3.0034
97 3.0068
98 3.0102
99 3.0136
100 3.017
101 3.0202
102 3.0234
103 3.0266
104 3.0298
105 3.033
106 3.0362
107 3.0394
108 3.0426
109 3.0458
110 3.049
111 3.0519
112 3.0548
113 3.0577
114 3.0606
115 3.0635
116 3.0664
117 3.0693
118 3.0722

```

119 3.0751
120 3.078
121 3.0806
122 3.0832
123 3.0858
124 3.0884
125 3.091
126 3.0936
127 3.0962
128 3.0988
129 3.1014
130 3.104
131 3.1065
132 3.109
133 3.1115
134 3.114
135 3.1165
136 3.119
137 3.1215
138 3.124
139 3.1265
140 3.129];
gd=size(DD);
gd=gd(1,1);
for kd=1:gd
ty=DD(kd,1) ;
if ty==n
ty1=DD(kd,2) ;
end
if n>140
ty1=1.5512*log(log(n))+0.6488;
end
end
Kn=ty1;
Hx=PROM2+Kn*DESV2;
PH=10^Hx;
Xl=PROM2-Kn*DESV2;
PL=10^Xl;
for LL=1:n
Dd=PP1(LL,3);
if Dd < PH & Dd > PL
lo=1;
else
lo=0;
end
PP1(LL,6)=lo;
if LL==1
PP1(:,7)=sort(PP1(:,3));
end
PP1(LL,8)=log(PP1(LL,7));
PP1(LL,9)=(PP1(LL,1)/(n+1));
PP1(LL,10)=(PP1(LL,7)-PROM1)/DESV1;

```

```

% FUNCION NORMAL
PP1(LL,11)=cdf(makedist('Normal'),PP1(LL,10));
if ((PP1(LL,11))-(PP1(LL,9))) < 0;
Ff=((PP1(LL,11))-(PP1(LL,9)))*(-1);
else
Ff=((PP1(LL,11))-(PP1(LL,9)));
end
PP1(LL,12)=Ff;
% FUNCION LOG-NORMAL
PP1(LL,13)=(PP1(LL,8)-PROM3)/DESV3;
PP1(LL,14)=cdf(makedist('Normal'),PP1(LL,13));
if ((PP1(LL,14))-(PP1(LL,9))) < 0;
Ln=((PP1(LL,14))-(PP1(LL,9)))*(-1);
else
Ln=((PP1(LL,14))-(PP1(LL,9)));
end
PP1(LL,15)=Ln;
% FUNCION GUMBEL
PP1(LL,16)=exp(-exp(-ALF1*(PP1(LL,7)-BET1)));
if ((PP1(LL,16))-(PP1(LL,9))) < 0;
Gu=((PP1(LL,16))-(PP1(LL,9)))*(-1);
else
Gu=((PP1(LL,16))-(PP1(LL,9)));
end
PP1(LL,17)=Gu;
% FUNCION LOG-GUMBEL
PP1(LL,18)=exp(-exp(-((PP1(LL,8)-BET2)/ALF2)));
if ((PP1(LL,18))-(PP1(LL,9))) < 0
Lgu=((PP1(LL,18))-(PP1(LL,9)))*(-1);
else
Lgu=((PP1(LL,18))-(PP1(LL,9)));
end
PP1(LL,19)=Lgu;
end
% TABLA 06 PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)GENERAL
PD=zeros(n,1);
PD(:,1)=PP1(:,1);
PD(:,2)=PP1(:,2);
PD(:,3)=PP1(:,3);
PD(:,4)=PP1(:,4);
PD(:,5)=PP1(:,6);
PD(:,6)=PH;
PD(:,7)=PL;
% PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council) TABLA
PD1=zeros(n,1);
PD1(:,1)=PD(:,1);
PD1(:,2)=PD(:,2);
PD1(:,3)=PD(:,3);
PD1(:,4)=PD(:,4);
PD1(:,5)=PD(:,5);
PD2=zeros(n,1);
PD2(:,1)=PD(:,6);

```

```

PD2(:,2)=PD(:,7);
% PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV
BK=zeros(n,1);
BK(:,1)=PP1(:,1);
BK(:,2)=PP1(:,7);
BK(:,3)=PP1(:,9);
BK(:,4)=PP1(:,11);
BK(:,5)=PP1(:,12);
BK(:,6)=PP1(:,14);
BK(:,7)=PP1(:,15);
BK(:,8)=PP1(:,16);
BK(:,9)=PP1(:,17);
BK(:,10)=PP1(:,18);
BK(:,11)=PP1(:,19);
% TABLA 08 SELECCION DE FUNCION AL QUE MAS SE AJUSTA
% NIVEL DE SIGNIFICANCIA (0.2,0.1,0.05,0.01)
% sg=0.05;
if sg<0.21 & sg>0.19;
ng=1.07/(n)^.5;
elseif sg<0.11 & sg>0.09;
ng=1.22/(n)^.5;
elseif sg<0.06 & sg>0.04;
ng=1.36/(n)^.5;
elseif sg<0.02 & sg>0.009;
ng=1.63/(n)^.5;
end
sg1=sg*100;
DELTATABULAR=ng;
DELTANORMAL=max(PP1(:,12));
DELTALOGNORMAL=max(PP1(:,15));
DELTAGUMBEL=max(PP1(:,17));
DELTALOGGUMBEL=max(PP1(:,19));
if DELTANORMAL< DELTATABULAR;
Ff='Se ajusta';
else
Ff='No se ajusta';
end
dn=Ff;
if DELTALOGNORMAL< DELTATABULAR;
Ff1='Se ajusta';
else
Ff1='No se ajusta';
end
dn1=Ff1;
if DELTAGUMBEL< DELTATABULAR;
Ff2='Se ajusta';
else
Ff2='No se ajusta';
end
dn2=Ff2;
if DELTALOGGUMBEL< DELTATABULAR;
Ff3='Se ajusta';

```

```

else
Ff3=' No se ajusta';
end
dn3=Ff3;
if DELTANORMAL<DELTALOGNORMAL & DELTANORMAL<DELTAGUMBEL &
DELTANORMAL<DELTALOGGUMBEL
Ps1='Normal';
elseif DELTALOGNORMAL<DELTANORMAL & DELTALOGNORMAL<DELTAGUMBEL &
DELTALOGNORMAL<DELTALOGGUMBEL
Ps1='LogNormal';
elseif DELTAGUMBEL<DELTANORMAL & DELTAGUMBEL<DELTALOGNORMAL &
DELTAGUMBEL<DELTALOGGUMBEL
Ps1='Gumbel';
elseif DELTALOGGUMBEL<DELTANORMAL & DELTALOGGUMBEL<DELTALOGNORMAL
& DELTALOGGUMBEL<DELTAGUMBEL
Ps1='LogGumbel';
end
DS=Ps1;
%EVALUACION DE BONDAD DE AJUSTE PARA LA SELECCION DE DISTRIBUCION
Eva(:,1)=DELTATABULAR;
Eva(:,2)=DELTANORMAL;
Eva(:,3)=DELTALOGNORMAL;
Eva(:,4)=DELTAGUMBEL;
Eva(:,5)=DELTALOGGUMBEL;
% DETERMINAR PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO
PP2=[2
5
10
30
35
50
100
140
200
500
1000
];

PP3=PP2;
for YY=1:11;
PP3(YY,2)=(1/PP3(YY,1)) ;
PP3(YY,3)=((log(1/(PP3(YY,2)^2)))^0.5)-
((2.515517+0.802853*((log(1/(PP3(YY,2)^2)))^0.5)+0.010328*((log(1/(PP3(YY,2)^2)))^0.5)^2)/(1+
1.432788*((log(1/(PP3(YY,2)^2)))^0.5)+0.189269*((log(1/(PP3(YY,2)^2)))^0.5)^2+0.001308*((log(
1/(PP3(YY,2)^2)))^0.5)^3));
PP3(YY,4)=PROM1+PP3(YY,3)*DESV1;
PP3(YY,5)=PP3(YY,3);
PP3(YY,6)=10^(PROM2+PP3(YY,5)*DESV2);
PP3(YY,7)=(-(6^0.5/pi()))*(0.5772+log(log(PP3(YY,1)/(PP3(YY,1)-1))));
PP3(YY,8)=PROM1+PP3(YY,7)*DESV1;
PP3(YY,9)=PP3(YY,7);
PP3(YY,10)=10^(PROM2+PP3(YY,9)*DESV2);

```

```

%precipitacion seleccionada
% correccionpor numero de vistas
% CV=1.13
if DELTANORMAL<DELTALOGNORMAL & DELTANORMAL<DELTAGUMBEL &
DELTANORMAL<DELTALOGGUMBEL
Ps=PP3(:,4);
elseif DELTALOGNORMAL<DELTANORMAL & DELTALOGNORMAL<DELTAGUMBEL &
DELTALOGNORMAL<DELTALOGGUMBEL
Ps=PP3(:,6);
elseif DELTAGUMBEL<DELTANORMAL & DELTAGUMBEL<DELTALOGNORMAL &
DELTAGUMBEL<DELTALOGGUMBEL
Ps=PP3(:,8);
elseif DELTALOGGUMBEL<DELTANORMAL & DELTALOGGUMBEL<DELTALOGNORMAL
& DELTALOGGUMBEL<DELTAGUMBEL
Ps=PP3(:,10);
end
PP3(:,11)=Ps;
PP3(:,12)=Ps*CV;
end
%precipitaciones generadas para todos las distribuciones finnn finnn
PPG(:,1)=PP3(:,1);
PPG(:,2)=PP3(:,2);
PPG(:,3)=PP3(:,4);
PPG(:,4)=PP3(:,6);
PPG(:,5)=PP3(:,8);
PPG(:,6)=PP3(:,10);
%precipitacion seleccionada finnn finnn
PPS(:,1)=PP3(:,1);
PPS(:,2)=PP3(:,11);
PPS(:,3)=PP3(:,12);
% DETERMINAR PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y
% DIFERENTES TIEMPOS CON DICK
PP4=[10.000;
15.000;
20.000;
25.000;
30.000;
35.000;
40.000;
45.000;
50.000;
55.000;
59.000;];
PP5=PP4;
for pp=1:11
% PARA 2 AÑOS
PP5(pp,2)=PP3(1,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 5 AÑOS
PP5(pp,3)=PP3(2,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 10 AÑOS
PP5(pp,4)=PP3(3,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 30 AÑOS

```

```

PP5(pp,5)=PP3(4,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 35 AÑOS
PP5(pp,6)=PP3(5,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 50 AÑOS
PP5(pp,7)=PP3(6,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 100 AÑOS
PP5(pp,8)=PP3(7,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 140 AÑOS
PP5(pp,9)=PP3(8,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 200 AÑOS
PP5(pp,10)=PP3(9,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 500 AÑOS
PP5(pp,11)=PP3(10,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
% PARA 100 AÑOS
PP5(pp,12)=PP3(11,12)*(PP5(pp,1)/1440)^0.25 ;
end
% DETERMINAR PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y
% DIFERENTES TIEMPOS CON COEFICIENTES
PP6=[1.000 0.250;
2.000 0.310;
3.000 0.380;
4.000 0.440;
5.000 0.500;
6.000 0.560;
8.000 0.640;
10.000 0.730;
12.000 0.790;
14.000 0.830;
16.000 0.870;
18.000 0.900;
20.000 0.930;
22.000 0.970;
24.000 1.000;
48.000 1.320;];
PP7=PP6 ;
for pp1=1:16
% PARA 2 AÑOS
PP7(pp1,3)=PP3(1,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 5 AÑOS
PP7(pp1,4)=PP3(2,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 10 AÑOS
PP7(pp1,5)=PP3(3,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 30 AÑOS
PP7(pp1,6)=PP3(4,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 35 AÑOS
PP7(pp1,7)=PP3(5,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 50 AÑOS
PP7(pp1,8)=PP3(6,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 100 AÑOS
PP7(pp1,9)=PP3(7,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 140 AÑOS
PP7(pp1,10)=PP3(8,12)*PP7(pp1,2);

```

```

% PARA 200 AÑOS
PP7(pp1,11)=PP3(9,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 500 AÑOS
PP7(pp1,12)=PP3(10,12)*PP7(pp1,2);
% PARA 100 AÑOS
PP7(pp1,13)=PP3(11,12)*PP7(pp1,2);
end
%Precipitacion generada por coeficiente
PP8(:,1)= PP7(:,1) ;
PP8(:,2)= PP7(:,3) ;
PP8(:,3)= PP7(:,4) ;
PP8(:,4)= PP7(:,5) ;
PP8(:,5)= PP7(:,6) ;
PP8(:,6)= PP7(:,7) ;
PP8(:,7)= PP7(:,8) ;
PP8(:,8)= PP7(:,9) ;
PP8(:,9)= PP7(:,10) ;
PP8(:,10)= PP7(:,11) ;
PP8(:,11)= PP7(:,12) ;
PP8(:,12)= PP7(:,13) ;
% DETERMINAR INTENSIDADES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y
% DIFERENTES TIEMPOS CON COEFICIENTES
I= PP4;
I1=I;
for ii1=1:11
% PARA 2 AÑOS
I1(ii1,2)=(PP3(1,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 5 AÑOS
I1(ii1,3)=(PP3(2,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 10 AÑOS
I1(ii1,4)=(PP3(3,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 30 AÑOS
I1(ii1,5)=(PP3(4,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 35 AÑOS
I1(ii1,6)=(PP3(5,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 50 AÑOS
I1(ii1,7)=(PP3(6,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 100 AÑOS
I1(ii1,8)=(PP3(7,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 140 AÑOS
I1(ii1,9)=(PP3(8,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 200 AÑOS
I1(ii1,10)=(PP3(9,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 500 AÑOS
I1(ii1,11)=(PP3(10,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
% PARA 1000 AÑOS
I1(ii1,12)=(PP3(11,12)*(I(ii1,1)/1440)^0.25)*60/(I(ii1,1));
end
%% %% %% REGRESION PARA DETERMINAR PARAMETROS PARA LA ECUACION
GENERAL
RG= [1 I1(1,2) PP3(1,1) I1(1,1)
2 I1(2,2) PP3(1,1) I1(2,1)

```

3 I1(3,2) PP3(1,1) I1(3,1)
4 I1(4,2) PP3(1,1) I1(4,1)
5 I1(5,2) PP3(1,1) I1(5,1)
6 I1(6,2) PP3(1,1) I1(6,1)
7 I1(7,2) PP3(1,1) I1(7,1)
8 I1(8,2) PP3(1,1) I1(8,1)
9 I1(9,2) PP3(1,1) I1(9,1)
10 I1(10,2) PP3(1,1) I1(10,1)
11 I1(11,2) PP3(1,1) I1(11,1)
12 I1(1,3) PP3(2,1) I1(1,1)
13 I1(2,3) PP3(2,1) I1(2,1)
14 I1(3,3) PP3(2,1) I1(3,1)
15 I1(4,3) PP3(2,1) I1(4,1)
16 I1(5,3) PP3(2,1) I1(5,1)
17 I1(6,3) PP3(2,1) I1(6,1)
18 I1(7,3) PP3(2,1) I1(7,1)
19 I1(8,3) PP3(2,1) I1(8,1)
20 I1(9,3) PP3(2,1) I1(9,1)
21 I1(10,3) PP3(2,1) I1(10,1)
22 I1(11,3) PP3(2,1) I1(11,1)
23 I1(1,4) PP3(3,1) I1(1,1)
24 I1(2,4) PP3(3,1) I1(2,1)
25 I1(3,4) PP3(3,1) I1(3,1)
26 I1(4,4) PP3(3,1) I1(4,1)
27 I1(5,4) PP3(3,1) I1(5,1)
28 I1(6,4) PP3(3,1) I1(6,1)
29 I1(7,4) PP3(3,1) I1(7,1)
30 I1(8,4) PP3(3,1) I1(8,1)
31 I1(9,4) PP3(3,1) I1(9,1)
32 I1(10,4) PP3(3,1) I1(10,1)
33 I1(11,4) PP3(3,1) I1(11,1)
34 I1(1,5) PP3(4,1) I1(1,1)
35 I1(2,5) PP3(4,1) I1(2,1)
36 I1(3,5) PP3(4,1) I1(3,1)
37 I1(4,5) PP3(4,1) I1(4,1)
38 I1(5,5) PP3(4,1) I1(5,1)
39 I1(6,5) PP3(4,1) I1(6,1)
40 I1(7,5) PP3(4,1) I1(7,1)
41 I1(8,5) PP3(4,1) I1(8,1)
42 I1(9,5) PP3(4,1) I1(9,1)
43 I1(10,5) PP3(4,1) I1(10,1)
44 I1(11,5) PP3(4,1) I1(11,1)
45 I1(1,6) PP3(5,1) I1(1,1)
46 I1(2,6) PP3(5,1) I1(2,1)
47 I1(3,6) PP3(5,1) I1(3,1)
48 I1(4,6) PP3(5,1) I1(4,1)
49 I1(5,6) PP3(5,1) I1(5,1)
50 I1(6,6) PP3(5,1) I1(6,1)
51 I1(7,6) PP3(5,1) I1(7,1)
52 I1(8,6) PP3(5,1) I1(8,1)
53 I1(9,6) PP3(5,1) I1(9,1)
54 I1(10,6) PP3(5,1) I1(10,1)

55 I1(11,6) PP3(5,1) I1(11,1)
56 I1(1,7) PP3(6,1) I1(1,1)
57 I1(2,7) PP3(6,1) I1(2,1)
58 I1(3,7) PP3(6,1) I1(3,1)
59 I1(4,7) PP3(6,1) I1(4,1)
60 I1(5,7) PP3(6,1) I1(5,1)
61 I1(6,7) PP3(6,1) I1(6,1)
62 I1(7,7) PP3(6,1) I1(7,1)
63 I1(8,7) PP3(6,1) I1(8,1)
64 I1(9,7) PP3(6,1) I1(9,1)
65 I1(10,7) PP3(6,1) I1(10,1)
66 I1(11,7) PP3(6,1) I1(11,1)
67 I1(1,8) PP3(7,1) I1(1,1)
68 I1(2,8) PP3(7,1) I1(2,1)
69 I1(3,8) PP3(7,1) I1(3,1)
70 I1(4,8) PP3(7,1) I1(4,1)
71 I1(5,8) PP3(7,1) I1(5,1)
72 I1(6,8) PP3(7,1) I1(6,1)
73 I1(7,8) PP3(7,1) I1(7,1)
74 I1(8,8) PP3(7,1) I1(8,1)
75 I1(9,8) PP3(7,1) I1(9,1)
76 I1(10,8) PP3(7,1) I1(10,1)
77 I1(11,8) PP3(7,1) I1(11,1)
78 I1(1,9) PP3(8,1) I1(1,1)
79 I1(2,9) PP3(8,1) I1(2,1)
80 I1(3,9) PP3(8,1) I1(3,1)
81 I1(4,9) PP3(8,1) I1(4,1)
82 I1(5,9) PP3(8,1) I1(5,1)
83 I1(6,9) PP3(8,1) I1(6,1)
84 I1(7,9) PP3(8,1) I1(7,1)
85 I1(8,9) PP3(8,1) I1(8,1)
86 I1(9,9) PP3(8,1) I1(9,1)
87 I1(10,9) PP3(8,1) I1(10,1)
88 I1(11,9) PP3(8,1) I1(11,1)
89 I1(1,10) PP3(9,1) I1(1,1)
90 I1(2,10) PP3(9,1) I1(2,1)
91 I1(3,10) PP3(9,1) I1(3,1)
92 I1(4,10) PP3(9,1) I1(4,1)
93 I1(5,10) PP3(9,1) I1(5,1)
94 I1(6,10) PP3(9,1) I1(6,1)
95 I1(7,10) PP3(9,1) I1(7,1)
96 I1(8,10) PP3(9,1) I1(8,1)
97 I1(9,10) PP3(9,1) I1(9,1)
98 I1(10,10) PP3(9,1) I1(10,1)
99 I1(11,10) PP3(9,1) I1(11,1)
100 I1(1,11) PP3(10,1) I1(1,1)
101 I1(2,11) PP3(10,1) I1(2,1)
102 I1(3,11) PP3(10,1) I1(3,1)
103 I1(4,11) PP3(10,1) I1(4,1)
104 I1(5,11) PP3(10,1) I1(5,1)
105 I1(6,11) PP3(10,1) I1(6,1)
106 I1(7,11) PP3(10,1) I1(7,1)

```

107 Ii(8,11) PP3(10,1) Ii(8,1)
108 Ii(9,11) PP3(10,1) Ii(9,1)
109 Ii(10,11) PP3(10,1) Ii(10,1)
110 Ii(11,11) PP3(10,1) Ii(11,1)
111 Ii(1,12) PP3(11,1) Ii(1,1)
112 Ii(2,12) PP3(11,1) Ii(2,1)
113 Ii(3,12) PP3(11,1) Ii(3,1)
114 Ii(4,12) PP3(11,1) Ii(4,1)
115 Ii(5,12) PP3(11,1) Ii(5,1)
116 Ii(6,12) PP3(11,1) Ii(6,1)
117 Ii(7,12) PP3(11,1) Ii(7,1)
118 Ii(8,12) PP3(11,1) Ii(8,1)
119 Ii(9,12) PP3(11,1) Ii(9,1)
120 Ii(10,12) PP3(11,1) Ii(10,1)
121 Ii(11,12) PP3(11,1) Ii(11,1)
];
RG1=RG;
for Rg=1:121
RG1(Rg,5)= log10(RG1(Rg,2));
RG1(Rg,6)= log10(RG1(Rg,3));
RG1(Rg,7)= log10(RG1(Rg,4));
RG1(Rg,8)=(RG1(Rg,5))*(RG1(Rg,6));
RG1(Rg,9)=(RG1(Rg,5))*(RG1(Rg,7));
RG1(Rg,10)=(RG1(Rg,6))*(RG1(Rg,7));
RG1(Rg,11)=(RG1(Rg,6))*(RG1(Rg,6));
RG1(Rg,12)=(RG1(Rg,7))*(RG1(Rg,7));
end
RG2= sum(RG1(:,5));
RG3= sum(RG1(:,6));
RG4= sum(RG1(:,7));
RG5= sum(RG1(:,8)) ;
RG6= sum(RG1(:,9));
RG7= sum(RG1(:,10));
RG8= sum(RG1(:,11));
RG9= sum(RG1(:,12));
Rg1=[(RG1(121,1)) RG3 RG4
RG3 RG8 RG7
RG4 RG7 RG9];
Rg2=[RG2
RG5
RG6];
%parametros para la ecuacion general de dick
Rf=inv(Rg1)*(Rg2);
k=10^Rf(1,1);
m=Rf(2,1);
n=(-1)*Rf(3,1);
%determinando coeficiente de correlacion y determinacion
RG10=RG1;
for Rg=1:121;
RG10(Rg,13)= Rf(1,1)+m*(RG10(Rg,6))+Rf(3,1)*(RG10(Rg,7));
RG10(Rg,14)=mean(RG10(:,5));
RG10(Rg,15)=(RG10(Rg,13)-RG10(Rg,14))^2;

```

```

RG10(Rg,16)=(RG10(Rg,14)-RG10(Rg,5))^2;
end
RG11= sum(RG10(:,13));
RG12= sum(RG10(:,15));
RG13= sum(RG10(:,16));
%coeficiente de correlacion (R)
RG14= (RG12/RG13)^.5;
%coeficiente de determinacion(R2)
RG15= (RG12/RG13);
% DETERMINAR INTENSIDADES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y
% DIFERENTES TIEMPOS CON COEFICIENTES
I2=PP6;
I3=I2 ;
for ii2=1:16
% PARA 2 AÑOS
I3(ii2,3)=PP3(1,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 5 AÑOS
I3(ii2,4)=PP3(2,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 10 AÑOS
I3(ii2,5)=PP3(3,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 30 AÑOS
I3(ii2,6)=PP3(4,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 35 AÑOS
I3(ii2,7)=PP3(5,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 50 AÑOS
I3(ii2,8)=PP3(6,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 100 AÑOS
I3(ii2,9)=PP3(7,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 140 AÑOS
I3(ii2,10)=PP3(8,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 200 AÑOS
I3(ii2,11)=PP3(9,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 500 AÑOS
I3(ii2,12)=PP3(10,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
% PARA 1000 AÑOS
I3(ii2,13)=PP3(11,12)*I3(ii2,2)/I3(ii2,1);
end
% intensidad mayores de una hora
I4(:,1)=I3(:,1);
I4(:,2)=I3(:,3) ;
I4(:,3)=I3(:,4) ;
I4(:,4)=I3(:,5) ;
I4(:,5)=I3(:,6) ;
I4(:,6)=I3(:,7) ;
I4(:,7)=I3(:,8) ;
I4(:,8)=I3(:,9) ;
I4(:,9)=I3(:,10) ;
I4(:,10)=I3(:,11) ;
I4(:,11)=I3(:,12) ;
I4(:,12)=I3(:,13);
%%%%% REGRESION PARA DETERMINAR PARAMETROS PARA LA ECUACION
GENERAL coeficiente

```

RC=[1 I3(1,3) PP3(1,1) I3(1,1)*60
2 I3(2,3) PP3(1,1) I3(2,1)*60
3 I3(3,3) PP3(1,1) I3(3,1)*60
4 I3(4,3) PP3(1,1) I3(4,1)*60
5 I3(5,3) PP3(1,1) I3(5,1)*60
6 I3(6,3) PP3(1,1) I3(6,1)*60
7 I3(7,3) PP3(1,1) I3(7,1)*60
8 I3(8,3) PP3(1,1) I3(8,1)*60
9 I3(9,3) PP3(1,1) I3(9,1)*60
10 I3(10,3) PP3(1,1) I3(10,1)*60
11 I3(11,3) PP3(1,1) I3(11,1)*60
12 I3(12,3) PP3(1,1) I3(12,1)*60
13 I3(13,3) PP3(1,1) I3(13,1)*60
14 I3(14,3) PP3(1,1) I3(14,1)*60
15 I3(15,3) PP3(1,1) I3(15,1)*60
16 I3(16,3) PP3(1,1) I3(16,1)*60
17 I3(1,4) PP3(2,1) I3(1,1)*60
18 I3(2,4) PP3(2,1) I3(2,1)*60
19 I3(3,4) PP3(2,1) I3(3,1)*60
20 I3(4,4) PP3(2,1) I3(4,1)*60
21 I3(5,4) PP3(2,1) I3(5,1)*60
22 I3(6,4) PP3(2,1) I3(6,1)*60
23 I3(7,4) PP3(2,1) I3(7,1)*60
24 I3(8,4) PP3(2,1) I3(8,1)*60
25 I3(9,4) PP3(2,1) I3(9,1)*60
26 I3(10,4) PP3(2,1) I3(10,1)*60
27 I3(11,4) PP3(2,1) I3(11,1)*60
28 I3(12,4) PP3(2,1) I3(12,1)*60
29 I3(13,4) PP3(2,1) I3(13,1)*60
30 I3(14,4) PP3(2,1) I3(14,1)*60
31 I3(15,4) PP3(2,1) I3(15,1)*60
32 I3(16,4) PP3(2,1) I3(16,1)*60
33 I3(1,5) PP3(3,1) I3(1,1)*60
34 I3(2,5) PP3(3,1) I3(2,1)*60
35 I3(3,5) PP3(3,1) I3(3,1)*60
36 I3(4,5) PP3(3,1) I3(4,1)*60
37 I3(5,5) PP3(3,1) I3(5,1)*60
38 I3(6,5) PP3(3,1) I3(6,1)*60
39 I3(7,5) PP3(3,1) I3(7,1)*60
40 I3(8,5) PP3(3,1) I3(8,1)*60
41 I3(9,5) PP3(3,1) I3(9,1)*60
42 I3(10,5) PP3(3,1) I3(10,1)*60
43 I3(11,5) PP3(3,1) I3(11,1)*60
44 I3(12,5) PP3(3,1) I3(12,1)*60
45 I3(13,5) PP3(3,1) I3(13,1)*60
46 I3(14,5) PP3(3,1) I3(14,1)*60
47 I3(15,5) PP3(3,1) I3(15,1)*60
48 I3(16,5) PP3(3,1) I3(16,1)*60
49 I3(1,6) PP3(4,1) I3(1,1)*60
50 I3(2,6) PP3(4,1) I3(2,1)*60
51 I3(3,6) PP3(4,1) I3(3,1)*60
52 I3(4,6) PP3(4,1) I3(4,1)*60

53 I3(5,6) PP3(4,1) I3(5,1)*60
54 I3(6,6) PP3(4,1) I3(6,1)*60
55 I3(7,6) PP3(4,1) I3(7,1)*60
56 I3(8,6) PP3(4,1) I3(8,1)*60
57 I3(9,6) PP3(4,1) I3(9,1)*60
58 I3(10,6) PP3(4,1) I3(10,1)*60
59 I3(11,6) PP3(4,1) I3(11,1)*60
60 I3(12,6) PP3(4,1) I3(12,1)*60
61 I3(13,6) PP3(4,1) I3(13,1)*60
62 I3(14,6) PP3(4,1) I3(14,1)*60
63 I3(15,6) PP3(4,1) I3(15,1)*60
64 I3(16,6) PP3(4,1) I3(16,1)*60
65 I3(1,7) PP3(5,1) I3(1,1)*60
66 I3(2,7) PP3(5,1) I3(2,1)*60
67 I3(3,7) PP3(5,1) I3(3,1)*60
68 I3(4,7) PP3(5,1) I3(4,1)*60
69 I3(5,7) PP3(5,1) I3(5,1)*60
70 I3(6,7) PP3(5,1) I3(6,1)*60
71 I3(7,7) PP3(5,1) I3(7,1)*60
72 I3(8,7) PP3(5,1) I3(8,1)*60
73 I3(9,7) PP3(5,1) I3(9,1)*60
74 I3(10,7) PP3(5,1) I3(10,1)*60
75 I3(11,7) PP3(5,1) I3(11,1)*60
76 I3(12,7) PP3(5,1) I3(12,1)*60
77 I3(13,7) PP3(5,1) I3(13,1)*60
78 I3(14,7) PP3(5,1) I3(14,1)*60
79 I3(15,7) PP3(5,1) I3(15,1)*60
80 I3(16,7) PP3(5,1) I3(16,1)*60
81 I3(1,8) PP3(6,1) I3(1,1)*60
82 I3(2,8) PP3(6,1) I3(2,1)*60
83 I3(3,8) PP3(6,1) I3(3,1)*60
84 I3(4,8) PP3(6,1) I3(4,1)*60
85 I3(5,8) PP3(6,1) I3(5,1)*60
86 I3(6,8) PP3(6,1) I3(6,1)*60
87 I3(7,8) PP3(6,1) I3(7,1)*60
88 I3(8,8) PP3(6,1) I3(8,1)*60
89 I3(9,8) PP3(6,1) I3(9,1)*60
90 I3(10,8) PP3(6,1) I3(10,1)*60
91 I3(11,8) PP3(6,1) I3(11,1)*60
92 I3(12,8) PP3(6,1) I3(12,1)*60
93 I3(13,8) PP3(6,1) I3(13,1)*60
94 I3(14,8) PP3(6,1) I3(14,1)*60
95 I3(15,8) PP3(6,1) I3(15,1)*60
96 I3(16,8) PP3(6,1) I3(16,1)*60
97 I3(1,9) PP3(7,1) I3(1,1)*60
98 I3(2,9) PP3(7,1) I3(2,1)*60
99 I3(3,9) PP3(7,1) I3(3,1)*60
100 I3(4,9) PP3(7,1) I3(4,1)*60
101 I3(5,9) PP3(7,1) I3(5,1)*60
102 I3(6,9) PP3(7,1) I3(6,1)*60
103 I3(7,9) PP3(7,1) I3(7,1)*60
104 I3(8,9) PP3(7,1) I3(8,1)*60

105 I3(9,9) PP3(7,1) I3(9,1)*60
106 I3(10,9) PP3(7,1) I3(10,1)*60
107 I3(11,9) PP3(7,1) I3(11,1)*60
108 I3(12,9) PP3(7,1) I3(12,1)*60
109 I3(13,9) PP3(7,1) I3(13,1)*60
110 I3(14,9) PP3(7,1) I3(14,1)*60
111 I3(15,9) PP3(7,1) I3(15,1)*60
112 I3(16,9) PP3(7,1) I3(16,1)*60
113 I3(1,10) PP3(8,1) I3(1,1)*60
114 I3(2,10) PP3(8,1) I3(2,1)*60
115 I3(3,10) PP3(8,1) I3(3,1)*60
116 I3(4,10) PP3(8,1) I3(4,1)*60
117 I3(5,10) PP3(8,1) I3(5,1)*60
118 I3(6,10) PP3(8,1) I3(6,1)*60
119 I3(7,10) PP3(8,1) I3(7,1)*60
120 I3(8,10) PP3(8,1) I3(8,1)*60
121 I3(9,10) PP3(8,1) I3(9,1)*60
122 I3(10,10) PP3(8,1) I3(10,1)*60
123 I3(11,10) PP3(8,1) I3(11,1)*60
124 I3(12,10) PP3(8,1) I3(12,1)*60
125 I3(13,10) PP3(8,1) I3(13,1)*60
126 I3(14,10) PP3(8,1) I3(14,1)*60
127 I3(15,10) PP3(8,1) I3(15,1)*60
128 I3(16,10) PP3(8,1) I3(16,1)*60
129 I3(1,11) PP3(9,1) I3(1,1)*60
130 I3(2,11) PP3(9,1) I3(2,1)*60
131 I3(3,11) PP3(9,1) I3(3,1)*60
132 I3(4,11) PP3(9,1) I3(4,1)*60
133 I3(5,11) PP3(9,1) I3(5,1)*60
134 I3(6,11) PP3(9,1) I3(6,1)*60
135 I3(7,11) PP3(9,1) I3(7,1)*60
136 I3(8,11) PP3(9,1) I3(8,1)*60
137 I3(9,11) PP3(9,1) I3(9,1)*60
138 I3(10,11) PP3(9,1) I3(10,1)*60
139 I3(11,11) PP3(9,1) I3(11,1)*60
140 I3(12,11) PP3(9,1) I3(12,1)*60
141 I3(13,11) PP3(9,1) I3(13,1)*60
142 I3(14,11) PP3(9,1) I3(14,1)*60
143 I3(15,11) PP3(9,1) I3(15,1)*60
144 I3(16,11) PP3(9,1) I3(16,1)*60
145 I3(1,12) PP3(10,1) I3(1,1)*60
146 I3(2,12) PP3(10,1) I3(2,1)*60
147 I3(3,12) PP3(10,1) I3(3,1)*60
148 I3(4,12) PP3(10,1) I3(4,1)*60
149 I3(5,12) PP3(10,1) I3(5,1)*60
150 I3(6,12) PP3(10,1) I3(6,1)*60
151 I3(7,12) PP3(10,1) I3(7,1)*60
152 I3(8,12) PP3(10,1) I3(8,1)*60
153 I3(9,12) PP3(10,1) I3(9,1)*60
154 I3(10,12) PP3(10,1) I3(10,1)*60
155 I3(11,12) PP3(10,1) I3(11,1)*60
156 I3(12,12) PP3(10,1) I3(12,1)*60

```

157 I3(13,12) PP3(10,1) I3(13,1)*60
158 I3(14,12) PP3(10,1) I3(14,1)*60
159 I3(15,12) PP3(10,1) I3(15,1)*60
160 I3(16,12) PP3(10,1) I3(16,1)*60
161 I3(1,13) PP3(11,1) I3(1,1)*60
162 I3(2,13) PP3(11,1) I3(2,1)*60
163 I3(3,13) PP3(11,1) I3(3,1)*60
164 I3(4,13) PP3(11,1) I3(4,1)*60
165 I3(5,13) PP3(11,1) I3(5,1)*60
166 I3(6,13) PP3(11,1) I3(6,1)*60
167 I3(7,13) PP3(11,1) I3(7,1)*60
168 I3(8,13) PP3(11,1) I3(8,1)*60
169 I3(9,13) PP3(11,1) I3(9,1)*60
170 I3(10,13) PP3(11,1) I3(10,1)*60
171 I3(11,13) PP3(11,1) I3(11,1)*60
172 I3(12,13) PP3(11,1) I3(12,1)*60
173 I3(13,13) PP3(11,1) I3(13,1)*60
174 I3(14,13) PP3(11,1) I3(14,1)*60
175 I3(15,13) PP3(11,1) I3(15,1)*60
176 I3(16,13) PP3(11,1) I3(16,1)*60
];
RC1=RC;
for Rc=1:176
RC1(Rc,5)= log10(RC1(Rc,2));
RC1(Rc,6)= log10(RC1(Rc,3));
RC1(Rc,7)= log10(RC1(Rc,4));
RC1(Rc,8)=(RC1(Rc,5))*(RC1(Rc,6));
RC1(Rc,9)=(RC1(Rc,5))*(RC1(Rc,7));
RC1(Rc,10)=(RC1(Rc,6))*(RC1(Rc,7));
RC1(Rc,11)=(RC1(Rc,6))*(RC1(Rc,6));
RC1(Rc,12)=(RC1(Rc,7))*(RC1(Rc,7));
end
RC2= sum(RC1(:,5));
RC3= sum(RC1(:,6));
RC4= sum(RC1(:,7));
RC5= sum(RC1(:,8));
RC6= sum(RC1(:,9));
RC7= sum(RC1(:,10));
RC8= sum(RC1(:,11));
RC9= sum(RC1(:,12));
Rc1=[(RC1(176,1)) RC3 RC4;
RC3 RC8 RC7
RC4 RC7 RC9];
Rc2=[RC2
RC5
RC6];
%parametros para la ecuacion general de COEFICIENTE
Rf1=inv(Rc1)*(Rc2);
k1=10^Rf1(1,1);
m1=Rf1(2,1);
n1=(-1)*Rf1(3,1);
RC10=RC1;

```

```

for Rc=1:176;
RC10(Rc,13)= Rf1(1,1)+m1*(RC10(Rc,6))+Rf1(3,1)*(RC10(Rc,7));
RC10(Rc,14)=mean(RC10(:,5));
RC10(Rc,15)=(RC10(Rc,13)-RC10(Rc,14))^2;
RC10(Rc,16)=(RC10(Rc,14)-RC10(Rc,5))^2;
end
RC11= sum(RC10(:,13));
RC12= sum(RC10(:,15));
RC13= sum(RC10(:,16));
%coeficiente de correlación (R)
RC14= (RC12/RC13)^.5;
%coeficiente de determinación(R2)
RC15= (RC12/RC13);
% INTENSIDADES MAXIMAS SEGUN LA ECUACION DE CADA UNO
%IMAX ( DICK PIACHK)
I5= PP4;
I6=I5;
for iK=1:11
% PARA 2 AÑOS
I6(iK,2)=(k*(PP2(1,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 5 AÑOS
I6(iK,3)=(k*(PP2(2,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 10 AÑOS
I6(iK,4)=(k*(PP2(3,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 30 AÑOS
I6(iK,5)=(k*(PP2(4,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 35 AÑOS
I6(iK,6)=(k*(PP2(5,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 50 AÑOS
I6(iK,7)=(k*(PP2(6,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 100 AÑOS
I6(iK,8)=(k*(PP2(7,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 140 AÑOS
I6(iK,9)=(k*(PP2(8,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 200 AÑOS
I6(iK,10)=(k*(PP2(9,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 500 AÑOS
I6(iK,11)=(k*(PP2(10,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
% PARA 1000 AÑOS
I6(iK,12)=(k*(PP2(11,1))^m)/(I6(iK,1)^n);
end
%IMAX (COEFICIENTE DE DURACION)
I7=PP6;
I8=I7 ;
for iK1=1:16
% PARA 2 AÑOS
I8(iK1,2)=(k1*(PP2(1,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 5 AÑOS
I8(iK1,3)=(k1*(PP2(2,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 10 AÑOS
I8(iK1,4)=(k1*(PP2(3,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 30 AÑOS

```

```

I8(iK1,5)=(k1*(PP2(4,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 35 AÑOS
I8(iK1,6)=(k1*(PP2(5,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 50 AÑOS
I8(iK1,7)=(k1*(PP2(6,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 100 AÑOS
I8(iK1,8)=(k1*(PP2(7,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 140 AÑOS
I8(iK1,9)=(k1*(PP2(8,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 200 AÑOS
I8(iK1,10)=(k1*(PP2(9,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 500 AÑOS
I8(iK1,11)=(k1*(PP2(10,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
% PARA 1000 AÑOS
I8(iK1,12)=(k1*(PP2(11,1))^m1)/((I8(iK1,1)*60)^n1);
end
% CAUDALES.....
%metodo racional
Q1=CG1;
for qq=1:N
if Q1(qq,22) < 10;
Qu=10;
else
Qu=Q1(qq,22);
end
Q1(qq,25)=Qu;
if Q1(qq,25) < 60;
Tu=k*Q1(qq,11)^m/Q1(qq,25)^n;
else
Tu=k1*Q1(qq,11)^m1/Q1(qq,25)^n1;
end
Q1(qq,26)=Tu;
Q1(qq,27)=0.278*Q1(qq,26)*Q1(qq,9)*Q1(qq,3);
if Q1(qq,3) < 10;
Tra=Q1(qq,27);
else
Tra=Q1(qq,27)*0;
end
Q1(qq,28)=Tra;
end
%TABLA DE REPORTE DE CAUDALES MAXIMOS POR METODO RACIONAL
Qr=zeros(N,1) ;
Qr(:,1)=Q1(:,1);
Qr(:,2)=Q1(:,2) ;
Qr(:,3)=Q1(:,3);
Qr(:,4)=Q1(:,25);
Qr(:,5)=Q1(:,11);
Qr(:,6)=Q1(:,26);
Qr(:,7)=Q1(:,9);
Qr(:,8)=Q1(:,28);
%METODO TEMEZ
Q2=CG1;

```

```

for q2=1:N;
if Q2(q2,23) < 10;
qu=10;
else
qu=Q2(q2,23);
end
Q2(q2,25)=qu/60;
Q2(q2,26)=1+(Q2(q2,25)^1.25)/(Q2(q2,25)^1.25+14);
Q2(q2,27)=1-log10(Q2(q2,3))/15;
if Q2(q2,25) < 1;
Tz=k*Q2(q2,11)^m/1440^n*24;
else
Tz=k1*Q2(q2,11)^m1/1440^n1*24;
end
Q2(q2,28)=Tz;
Q2(q2,29)=Q2(q2,27)*Q2(q2,28);
Q2(q2,30)=(Q2(q2,29)/24)*11^((28^0.1-Q2(q2,25)^0.1)/(28^0.1-1));
Q2(q2,31)=5000/Q2(q2,10)-50;
Q2(q2,32)=((Q2(q2,29)-Q2(q2,31))*(Q2(q2,29)+23*Q2(q2,31)))/(Q2(q2,29)+11*Q2(q2,31)^2);
Q2(q2,33)=Q2(q2,32)*Q2(q2,30)*Q2(q2,3)*Q2(q2,26)/3.6;
if Q2(q2,3) < 770 & Q2(q2,25) > 0.25 & Q2(q2,25) < 24 ;
Tt=Q2(q2,33);
else
Tt=Q2(q2,33)*0;
end
Q2(q2,34)=Tt ;
end
%TABLA DE REPORTE DE CAUDALES MAXIMOS POR METODO TEMEZ
Qt=zeros(N,1);
Qt(:,1)=Q2(:,1);
Qt(:,2)=Q2(:,2) ;
Qt(:,3)=Q2(:,3) ;
Qt(:,4)=Q2(:,25) ;
Qt(:,5)=Q2(:,11) ;
Qt(:,6)=Q2(:,26);
Qt(:,7)=Q2(:,27);
Qt(:,8)=Q2(:,28);
Qt(:,9)=Q2(:,29);
Qt(:,10)=Q2(:,30);
Qt(:,11)=Q2(:,31);
Qt(:,12)=Q2(:,32);
Qt(:,13)=Q2(:,34);
Qt(:,14)=Q2(:,10); %AGRgando CN

```

%METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

Q3=CG1;

for q3=1:N;

if Q3(q3,22) < 10;

```

        qa=10;
else
    qa=Q3(q3,22);
end

Q3(q3,25)=qa/60 ;

if Q3(q3,25) < 1;

    Ts=k*Q3(q3,11)^m/1440^n*24;
else
    Ts=k1*Q3(q3,11)^m1/1440^n1*24;
end

Q3(q3,26)=Ts;
Q3(q3,27)=(Q3(q3,10)*(Q3(q3,26)+50.8)-5080)^2/(Q3(q3,10)*(Q3(q3,10)*(Q3(q3,26)-
203.2)+20320));
%         if Q3(q3,3) < 250;
%
%         Tx=Q3(q3,25);
%     else
%         Tx=2*Q3(q3,25)^0.5;
%     end
% Q3(q3,28)=Tx;
Q3(q3,28)=2*Q3(q3,25)^.5;
Q3(q3,29)=0.6*Q3(q3,25);
Q3(q3,30)=Q3(q3,28)/2+0.6*Q3(q3,25);
Q3(q3,31)=2.67*Q3(q3,30);
Q3(q3,32)=0.208*Q3(q3,27)*Q3(q3,3)/Q3(q3,30);
Q3(q3,33)=1.67*Q3(q3,30);

if Q3(q3,3) < 30

    Tx=Q3(q3,32);
else
    Tx=Q3(q3,32)*0;
end

Q3(q3,34)=Tx;
end

```

% TABLA DE REPORTE DE CAUDALES MAXIMOS POR HIDROGRAMA UNITARIO
 TRIANGULAR

```

Qh=zeros(N,1);
Qh(:,1)=Q3(:,1);
Qh(:,2)=Q3(:,2);
Qh(:,3)=Q3(:,3);
Qh(:,4)=Q3(:,25);
Qh(:,5)=Q3(:,11);
Qh(:,6)=Q3(:,10);
Qh(:,7)=Q3(:,26);
Qh(:,8)=Q3(:,27);

```

```
Qh(:,9)=Q3(:,28);
Qh(:,10)=Q3(:,29);
Qh(:,11)=Q3(:,30);
Qh(:,12)=Q3(:,33);
Qh(:,13)=Q3(:,31);
Qh(:,14)=Q3(:,34);
```

```
    %RESUMEN DE REPORTE DE CAUDALES
```

```
Qf=zeros(N,1);
Qf(:,1)=Q3(:,1);
Qf(:,2)=Q3(:,2);
Qf(:,3)=Q3(:,3);
Qf(:,4)=Q3(:,11);
Qf(:,5)=Qr(:,8);
Qf(:,6)=Qt(:,13);
Qf(:,7)=Qh(:,14);
    else
```

```
    msgbox('Ingrese Datos Correctamente', 'Error','error');
```

```
end
```

Resultados de hojas de cálculo en Microsoft Excel

a. Parámetros geomorfológicos

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Re	Rci
P-01	0+220	1.53	6.769	1.543	2.847	0.537	0.189	0.255	0.232	0.49	0.42
A-01	0+340	0.068	1.164	1.259	0.42	0.162	0.385	0.303	0.209	0.7	0.631
A-02	0+405	0.131	1.888	1.471	0.775	0.169	0.218	0.18	0.15	0.527	0.462
A-03	0+460	0.049	1.101	1.403	0.439	0.112	0.254	0.267	0.187	0.569	0.508
A-04	1+240	0.125	1.844	1.471	0.757	0.165	0.218	0.224	0.105	0.527	0.462
A-05	1+340	0.014	0.643	1.532	0.27	0.052	0.193	0.161	0.111	0.495	0.426
A-06	1+490	0.044	0.956	1.285	0.354	0.124	0.352	0.227	0.245	0.669	0.605
A-07	1+600	0.068	1.381	1.493	0.572	0.119	0.208	0.242	0.157	0.515	0.448
A-08	1+690	0.158	1.75	1.242	0.62	0.255	0.411	0.189	0.185	0.723	0.648

b. Parámetros geomorfológicos

Cuenca	Prog (km)	Lca (km)	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Kirpich (min)	Kirpich (h)	Temez (min)	Temez (h)
P-01	0+220	2.556	0.255	0.232	13.847	0.231	47.602	0.793
A-01	0+340	0.277	0.303	0.209	2.342	0.039	8.512	0.142
A-02	0+405	0.54	0.18	0.15	4.79	0.08	15.616	0.26
A-03	0+460	0.285	0.267	0.187	2.515	0.042	8.912	0.149
A-04	1+240	0.333	0.224	0.105	3.034	0.051	10.373	0.173
A-05	1+340	0.149	0.161	0.111	1.854	0.031	5.992	0.1
A-06	1+490	0.341	0.227	0.245	3.071	0.051	10.53	0.175
A-07	1+600	0.343	0.242	0.157	3.012	0.05	10.451	0.174
A-08	1+690	0.52	0.189	0.185	4.559	0.076	15.022	0.25

c. Prueba de datos dudosos método de Water Resources Council

Nro	Año	Pmax (mm)	log (pmax)	Condición
1	1964	60	1.778	confiable
2	1965	44.9	1.652	confiable
3	1966	55	1.74	confiable
4	1967	61.3	1.787	confiable
5	1968	61.3	1.787	confiable
6	1969	57	1.756	confiable
7	1970	60.3	1.78	confiable
8	1971	56.4	1.751	confiable
9	1972	85.2	1.93	confiable
10	1973	68	1.833	confiable
11	1974	96.2	1.983	confiable
12	1975	85.4	1.931	confiable
13	1976	61.6	1.79	confiable
14	1977	78.2	1.893	confiable
15	1978	84	1.924	confiable
16	1979	42.3	1.626	confiable
17	1980	40.1	1.603	confiable
18	1981	48.9	1.689	confiable
19	1982	41.9	1.622	confiable
20	1983	41.2	1.615	confiable
21	1984	42.9	1.632	confiable
22	1985	38.9	1.59	confiable
23	1986	89.1	1.95	confiable
24	1987	82.2	1.915	confiable
25	1988	44	1.643	confiable
26	1989	68	1.833	confiable
27	1990	56	1.748	confiable
28	1991	43.5	1.638	confiable

d. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Nro	Pmax (mm)	Px	Normal (Fx)	Normal (D)	LogNormal (Fx)	LogNormal (D)	Gumbel (Fx)	Gumbel (D)	LogGumbel (Fx)	LogGumbel (D)
1	38.9	0.034	0.105	0.071	0.075	0.04	0.061	0.027	0.028	0.006
2	40.1	0.069	0.119	0.05	0.091	0.022	0.078	0.009	0.045	0.024
3	41.2	0.103	0.132	0.028	0.108	0.005	0.095	0.009	0.065	0.039
4	41.9	0.138	0.141	0.003	0.12	0.018	0.107	0.031	0.079	0.059
5	42.3	0.172	0.146	0.027	0.127	0.046	0.114	0.058	0.088	0.084
6	42.9	0.207	0.154	0.053	0.138	0.069	0.125	0.082	0.103	0.104
7	43.5	0.241	0.162	0.079	0.149	0.093	0.137	0.104	0.118	0.123
8	44	0.276	0.17	0.106	0.158	0.117	0.148	0.128	0.132	0.144
9	44.9	0.31	0.183	0.127	0.177	0.134	0.167	0.143	0.158	0.153
10	48.9	0.345	0.251	0.094	0.266	0.078	0.265	0.08	0.287	0.058
11	55	0.379	0.375	0.004	0.419	0.04	0.43	0.05	0.482	0.103
12	56	0.414	0.397	0.017	0.445	0.031	0.456	0.043	0.511	0.097
13	56.4	0.448	0.406	0.042	0.455	0.006	0.467	0.019	0.522	0.074
14	57	0.483	0.42	0.063	0.47	0.013	0.483	0	0.538	0.056
15	60	0.517	0.489	0.029	0.543	0.025	0.559	0.041	0.613	0.096
16	60.3	0.552	0.496	0.056	0.55	0.002	0.566	0.014	0.62	0.068
17	61.3	0.586	0.519	0.068	0.573	0.013	0.589	0.003	0.642	0.056
18	61.3	0.621	0.519	0.102	0.573	0.048	0.589	0.031	0.642	0.021
19	61.6	0.655	0.526	0.13	0.58	0.075	0.596	0.059	0.648	0.007
20	68	0.69	0.668	0.021	0.71	0.021	0.725	0.036	0.759	0.069
21	68	0.724	0.668	0.056	0.71	0.014	0.725	0.001	0.759	0.035
22	78.2	0.759	0.848	0.089	0.854	0.095	0.86	0.102	0.865	0.106
23	82.2	0.793	0.896	0.103	0.891	0.098	0.894	0.101	0.891	0.098
24	84	0.828	0.914	0.086	0.905	0.077	0.907	0.079	0.901	0.073
25	85.2	0.862	0.924	0.062	0.913	0.051	0.914	0.052	0.906	0.044
26	85.4	0.897	0.926	0.029	0.914	0.018	0.916	0.019	0.907	0.011
27	89.1	0.931	0.951	0.02	0.936	0.005	0.935	0.004	0.923	0.008
28	96.2	0.966	0.981	0.015	0.964	0.002	0.961	0.004	0.945	0.02

e. precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno

Tr (años)	Prob	Normal Ppmax (mm)	LogNormal PPmax (mm)	Gumbel PPmax (mm)	LogGumbel PPmax (mm)
2	0.5	60.493	58.227	57.659	55.61
5	0.2	75.009	73.696	72.904	71.221
10	0.1	82.604	83.363	82.998	83.898
30	0.033	92.137	97.312	98.25	107.462
35	0.029	93.315	99.191	100.356	111.199
50	0.02	95.93	103.491	105.213	120.318
100	0.01	100.632	111.699	114.604	140.128
140	0.007	102.765	115.633	119.149	150.856
200	0.005	104.936	119.779	123.961	163.11
500	0.002	110.15	130.357	136.306	199.293
1000	0.001	113.808	138.329	145.636	231.875

f. Precipitaciones máximas de 24 horas seleccionada y corregida

Tr (años)	Selec - PPmax (mm)	Correc - PPmax (mm)
2	60.493	68.357
5	75.009	84.76
10	82.604	93.343
30	92.137	104.115
35	93.315	105.446
50	95.93	108.401
100	100.632	113.715
140	102.765	116.125
200	104.936	118.577
500	110.15	124.47
1000	113.808	128.603

g. Curvas I-D-F menores a una hora (Dick Peschke)

d (min)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200año)	Tr (500años)	Tr (1000años)
10	133.474	145.397	155.119	171.877	174.369	180.274	192.328	198.467	205.188	223.517	238.463
15	98.475	107.272	114.445	126.809	128.647	133.004	141.897	146.426	151.385	164.908	175.935
20	79.364	86.453	92.234	102.199	103.68	107.192	114.359	118.009	122.006	132.904	141.791
25	67.134	73.131	78.021	86.449	87.703	90.673	96.736	99.824	103.204	112.423	119.941
30	58.554	63.784	68.049	75.401	76.494	79.085	84.373	87.066	90.014	98.055	104.612
35	52.161	56.82	60.62	67.169	68.142	70.45	75.161	77.56	80.187	87.349	93.19
40	47.19	51.406	54.843	60.768	61.649	63.736	67.998	70.169	72.545	79.025	84.309
45	43.2	47.059	50.206	55.63	56.436	58.348	62.249	64.236	66.411	72.344	77.181
50	39.918	43.484	46.391	51.403	52.148	53.915	57.52	59.355	61.366	66.847	71.317
55	37.164	40.484	43.191	47.857	48.551	50.195	53.551	55.261	57.132	62.236	66.397
59	35.258	38.407	40.976	45.402	46.061	47.621	50.805	52.426	54.202	59.044	62.991

h. Curvas I-D-F mayores a una hora (Coeficiente de duración)

d (h)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200año)	Tr (500años)	Tr (1000años)
1	18.649	20.315	21.673	24.015	24.363	25.188	26.872	27.73	28.669	31.23	33.318
2	12.771	13.912	14.842	16.445	16.684	17.249	18.402	18.989	19.633	21.386	22.816
3	10.234	11.148	11.893	13.178	13.369	13.822	14.746	15.217	15.732	17.137	18.283
4	8.745	9.527	10.164	11.262	11.425	11.812	12.602	13.004	13.444	14.645	15.625
5	7.742	8.433	8.997	9.969	10.114	10.456	11.156	11.512	11.902	12.965	13.832
6	7.008	7.634	8.144	9.024	9.155	9.465	10.098	10.42	10.773	11.736	12.52
8	5.989	6.524	6.96	7.712	7.824	8.089	8.63	8.905	9.207	10.029	10.7
10	5.302	5.775	6.161	6.827	6.926	7.161	7.639	7.883	8.15	8.878	9.472
12	4.799	5.228	5.577	6.18	6.269	6.482	6.915	7.136	7.378	8.037	8.574
14	4.411	4.806	5.127	5.681	5.763	5.958	6.357	6.56	6.782	7.388	7.882
16	4.101	4.468	4.766	5.281	5.358	5.539	5.91	6.098	6.305	6.868	7.327
18	3.846	4.189	4.469	4.952	5.024	5.194	5.541	5.718	5.912	6.44	6.871
20	3.631	3.955	4.219	4.675	4.743	4.904	5.231	5.398	5.581	6.08	6.486
22	3.446	3.754	4.005	4.438	4.502	4.655	4.966	5.125	5.298	5.771	6.157
24	3.286	3.58	3.819	4.232	4.293	4.439	4.735	4.887	5.052	5.503	5.871
48	2.251	2.452	2.615	2.898	2.94	3.04	3.243	3.346	3.46	3.769	4.021

i. Caudales máximos método racional

Cuenca	Prog	A (km)	Tc (min)	Tr (años)	I (mm)	C	Qr (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	13.847	140	155.478	0.4	26.452
A-01	0+340	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-02	0+405	0.131	10	71	186.275	0.4	2.713
A-03	0+460	0.049	10	71	186.275	0.4	1.015
A-04	1+240	0.125	10	71	186.275	0.4	2.589
A-05	1+340	0.014	10	71	186.275	0.4	0.29
A-06	1+490	0.044	10	71	186.275	0.4	0.911
A-07	1+600	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-08	1+690	0.158	10	71	186.275	0.4	3.273

j. Caudales máximos método racional Modificado o Temez

Cuenca	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	K	Ka	P24h (mm)	P (mm)	I (mm)	Po	C1	Qt (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.793	140	77	1.051	0.988	114.585	113.174	59.592	14.935	0.583	15.509
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	143.652	14.935	0.591	0
A-02	0+405	0.131	0.26	71	77	1.013	1.059	107.546	113.875	112.011	14.935	0.585	2.415
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	1.008	1.087	107.546	116.937	144.917	14.935	0.594	0
A-04	1+240	0.125	0.173	71	77	1.008	1.06	107.546	114.021	138.699	14.935	0.585	0
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	1.008	1.124	107.546	120.837	149.751	14.935	0.605	0
A-06	1+490	0.044	0.175	71	77	1.008	1.09	107.546	117.272	141.569	14.935	0.595	0
A-07	1+600	0.068	0.174	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	140.466	14.935	0.591	0
A-08	1+690	0.158	0.25	71	77	1.012	1.053	107.546	113.291	113.746	14.935	0.583	2.947

k. Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS

Nro	Prog	A (km²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	P24h (mm)	Pe (mm)	de(h)	tr(h)	Tp(h)	Tre(h)	Tb(h)	Qhut (m³/s)
P-01	0+220	1.53	0.231	140	77	114.585	56.381	0.961	0.138	0.619	1.034	1.652	28.993
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-02	0+405	0.131	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.719
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.017
A-04	1+240	0.125	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.594
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.291
A-06	1+490	0.044	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.913
A-07	1+600	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-08	1+690	0.158	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	3.279

Resultados De Hidroesta

a. Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov

a.1 Ajuste de una serie de datos a la distribución (Normal)

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	38.9	0.0345	0.1053	0.1080	0.0709
2	40.1	0.0690	0.1186	0.1213	0.0496
3	41.2	0.1034	0.1317	0.1345	0.0283
4	41.9	0.1379	0.1406	0.1434	0.0026
5	42.3	0.1724	0.1458	0.1486	0.0266
6	42.9	0.2069	0.1539	0.1567	0.0530
7	43.5	0.2414	0.1623	0.1651	0.0791
8	44.0	0.2759	0.1695	0.1723	0.1063
9	44.9	0.3103	0.1830	0.1858	0.1273
10	48.9	0.3448	0.2508	0.2533	0.0940
11	55.0	0.3793	0.3751	0.3765	0.0042
12	56.0	0.4138	0.3973	0.3984	0.0165
13	56.4	0.4483	0.4062	0.4073	0.0420
14	57.0	0.4828	0.4198	0.4207	0.0630
15	60.0	0.5172	0.4886	0.4887	0.0286
16	60.3	0.5517	0.4955	0.4956	0.0562
17	61.3	0.5862	0.5187	0.5184	0.0675
18	61.3	0.6207	0.5187	0.5184	0.1020
19	61.6	0.6552	0.5256	0.5253	0.1296
20	68.0	0.6897	0.6683	0.6664	0.0214
21	68.0	0.7241	0.6683	0.6664	0.0559
22	78.2	0.7586	0.8477	0.8448	0.0890
23	82.2	0.7931	0.8959	0.8932	0.1028
24	84.0	0.8276	0.9135	0.9110	0.0859
25	85.2	0.8621	0.9240	0.9215	0.0619
26	85.4	0.8966	0.9256	0.9232	0.0291
27	89.1	0.9310	0.9514	0.9494	0.0203
28	96.2	0.9655	0.9808	0.9796	0.0152

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1296, es menor que el delta tabular 0.2570. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización (X_m)= 60.4929

Parámetro de escala (S)= 17.251

Con momentos lineales:

Media lineal (X_l)= 60.4929

Desviación estándar lineal (S_l)= 17.454

a.2 Ajuste de una serie de datos a la distribución (log-Normal)

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	38.9	0.0345	0.0748	0.0805	0.0404
2	40.1	0.0690	0.0914	0.0974	0.0224
3	41.2	0.1034	0.1083	0.1146	0.0049
4	41.9	0.1379	0.1199	0.1264	0.0180
5	42.3	0.1724	0.1269	0.1334	0.0456
6	42.9	0.2069	0.1376	0.1442	0.0693
7	43.5	0.2414	0.1488	0.1554	0.0925
8	44.0	0.2759	0.1585	0.1651	0.1174
9	44.9	0.3103	0.1766	0.1832	0.1337
10	48.9	0.3448	0.2665	0.2720	0.0784
11	55.0	0.3793	0.4193	0.4215	0.0400
12	56.0	0.4138	0.4446	0.4461	0.0308
13	56.4	0.4483	0.4547	0.4559	0.0064
14	57.0	0.4828	0.4697	0.4705	0.0131
15	60.0	0.5172	0.5427	0.5415	0.0254
16	60.3	0.5517	0.5497	0.5484	0.0020
17	61.3	0.5862	0.5729	0.5709	0.0133
18	61.3	0.6207	0.5729	0.5709	0.0478
19	61.6	0.6552	0.5797	0.5776	0.0755
20	68.0	0.6897	0.7103	0.7051	0.0206
21	68.0	0.7241	0.7103	0.7051	0.0139
22	78.2	0.7586	0.8539	0.8473	0.0953
23	82.2	0.7931	0.8909	0.8846	0.0978
24	84.0	0.8276	0.9047	0.8986	0.0771
25	85.2	0.8621	0.9130	0.9071	0.0509
26	85.4	0.8966	0.9143	0.9084	0.0178
27	89.1	0.9310	0.9357	0.9304	0.0046
28	96.2	0.9655	0.9635	0.9595	0.0020

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1337, es menor que el delta tabular 0.2570. Los datos se ajustan a la distribución log Normal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución log Normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de escala (μ_y)= 4.0644

Parámetro de forma (S_y)= 0.28

Con momentos lineales:

Parámetro de escala (μ_{yl})= 4.0644

Parámetro de forma (S_{yl})= 0.2877

a.3 Ajuste de una serie de datos a la distribución (Gumbel)

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	38.9	0.0345	0.0611	0.0768	0.0266
2	40.1	0.0690	0.0775	0.0945	0.0086
3	41.2	0.1034	0.0948	0.1127	0.0087
4	41.9	0.1379	0.1068	0.1252	0.0311
5	42.3	0.1724	0.1140	0.1326	0.0584
6	42.9	0.2069	0.1254	0.1441	0.0815
7	43.5	0.2414	0.1372	0.1562	0.1041
8	44.0	0.2759	0.1476	0.1665	0.1283
9	44.9	0.3103	0.1670	0.1859	0.1433
10	48.9	0.3448	0.2647	0.2809	0.0802
11	55.0	0.3793	0.4297	0.4376	0.0504
12	56.0	0.4138	0.4565	0.4629	0.0427
13	56.4	0.4483	0.4671	0.4729	0.0189
14	57.0	0.4828	0.4829	0.4878	0.0001
15	60.0	0.5172	0.5585	0.5592	0.0413
16	60.3	0.5517	0.5658	0.5660	0.0140
17	61.3	0.5862	0.5893	0.5883	0.0031
18	61.3	0.6207	0.5893	0.5883	0.0314
19	61.6	0.6552	0.5962	0.5949	0.0589
20	68.0	0.6897	0.7252	0.7182	0.0355
21	68.0	0.7241	0.7252	0.7182	0.0011
22	78.2	0.7586	0.8603	0.8509	0.1016
23	82.2	0.7931	0.8942	0.8853	0.1011
24	84.0	0.8276	0.9068	0.8982	0.0792
25	85.2	0.8621	0.9144	0.9061	0.0524
26	85.4	0.8966	0.9156	0.9073	0.0191
27	89.1	0.9310	0.9353	0.9278	0.0042
28	96.2	0.9655	0.9613	0.9555	0.0042

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1433, es menor que el delta tabular 0.2570. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 52.729

Parámetro de escala (alfa)= 13.4506

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ)= 52.2925

Parámetro de escala (alfal)= 14.2067

a.4 Ajuste de una serie de datos a la distribución (log-Gumbel)

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	38.9	0.0345	0.0284	0.0432	0.0061
2	40.1	0.0690	0.0451	0.0633	0.0239
3	41.2	0.1034	0.0647	0.0855	0.0388
4	41.9	0.1379	0.0793	0.1014	0.0587
5	42.3	0.1724	0.0883	0.1111	0.0841
6	42.9	0.2069	0.1028	0.1263	0.1041
7	43.5	0.2414	0.1182	0.1423	0.1231
8	44.0	0.2759	0.1318	0.1561	0.1440
9	44.9	0.3103	0.1578	0.1821	0.1526
10	48.9	0.3448	0.2867	0.3063	0.0581
11	55.0	0.3793	0.4824	0.4886	0.1031
12	56.0	0.4138	0.5111	0.5152	0.0973
13	56.4	0.4483	0.5222	0.5255	0.0739
14	57.0	0.4828	0.5385	0.5407	0.0557
15	60.0	0.5172	0.6130	0.6102	0.0958
16	60.3	0.5517	0.6198	0.6166	0.0681
17	61.3	0.5862	0.6417	0.6371	0.0555
18	61.3	0.6207	0.6417	0.6371	0.0210
19	61.6	0.6552	0.6480	0.6431	0.0071
20	68.0	0.6897	0.7589	0.7487	0.0693
21	68.0	0.7241	0.7589	0.7487	0.0348
22	78.2	0.7586	0.8647	0.8527	0.1060
23	82.2	0.7931	0.8907	0.8791	0.0976
24	84.0	0.8276	0.9005	0.8892	0.0729
25	85.2	0.8621	0.9065	0.8954	0.0444
26	85.4	0.8966	0.9074	0.8963	0.0109
27	89.1	0.9310	0.9231	0.9127	0.0079
28	96.2	0.9655	0.9453	0.9363	0.0203

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1526, es menor que el delta tabular 0.2570. Los datos se ajustan a la distribución logGumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución logGumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 3.9383

Parámetro de escala (alfa)= 0.2183

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ)= 3.9292

Parámetro de escala (alfal)= 0.2342

b. precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno

b.1. Normal

T	P	Q
2	0.5	60.49
5	0.2	75.01
10	0.1	82.6
30	0.033	92.14
35	0.029	93.32
50	0.02	95.93
100	0.01	100.63
140	0.007	102.77
200	0.005	104.94
500	0.002	110.15
1000	0.001	113.81

b.2. LogNormal

T	P	Q
2	0.5	58.23
5	0.2	73.7
10	0.1	83.36
30	0.033	97.31
35	0.029	99.19
50	0.02	103.49
100	0.01	111.7
140	0.007	115.63
200	0.005	119.78
500	0.002	130.36
1000	0.001	138.33

b.3. Gumbel

T	P	Q
2	0.5	57.66
5	0.2	72.9
10	0.1	83
30	0.033	98.25
35	0.029	100.36
50	0.02	105.21
100	0.01	114.6
140	0.007	119.15
200	0.005	123.96
500	0.002	136.31
1000	0.001	145.64

b.4. LogGumbel

T	P	Q
2	0.5	55.61
5	0.2	71.22
10	0.1	83.9
30	0.033	107.46
35	0.029	111.2
50	0.02	120.32
100	0.01	140.13
140	0.007	150.86
200	0.005	163.11
500	0.002	199.29
1000	0.001	231.88

Estaciones meteorológicas



PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

ESTACION : MACHENTE REGION : AYACUCHO ALTITUD : 1080 m.s.n.m.
TIPO : PLUVIOMETRICA PROVINCIA : LA MAR LATITUD : 12°41'1.92" S
CODIGO : 000646 DISTRITO : AYNA LONGITUD : 73°52'21.14" W

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1968	28.7	21.1	21.5	61.3	35.4	18.1	17.8	21.9	29.1	43.4	42.8	29.9	61.3
1969	26.8	36.9	46.5	19.9	16.1	19.6	12.3	26.1	18.1	26.1	13.6	27.1	46.5
1970	37.5	48.4	49.8	56.0	8.4	20.1	5.0	20.6	53.0	60.3	36.0	34.8	60.3
1971	S/D	S/D	46.3	46.4	24.0	12.9	18.9	21.8	11.8	40.5	37.1	29.7	46.4
1972	47.7	37.0	38.5	28.6	31.2	6.1	26.7	28.1	21.1	28.1	27.6	28.1	47.7
1973	48.8	61.7	33.9	21.1	23.1	11.2	8.1	18.1	18.9	21.8	25.7	32.0	61.7
1974	43.3	30.5	47.0	21.8	6.1	6.1	6.4	96.2	26.3	32.7	26.1	31.4	96.2
1975	27.8	39.2	56.6	22.7	16.9	24.3	1.3	18.6	21.6	21.6	35.0	29.3	56.6
1976	30.1	32.1	34.6	18.5	18.6	13.9	17.7	21.5	38.7	16.7	18.3	18.1	38.7
1977	18.7	31.2	34.9	32.7	23.4	8.1	9.1	15.4	13.1	25.5	33.3	35.9	35.9
1978	29.4	22.7	25.4	26.7	25.7	9.1	0.4	24.7	28.7	16.8	26.8	29.5	29.5
1979	30.4	26.3	18.2	18.5	11.3	0.3	18.3	9.6	12.1	15.6	13.8	23.4	30.4
1980	35.0	26.6	27.7	18.2	15.1	9.1	13.1	23.4	34.6	30.3	26.1	26.7	35.0
1981	28.4	48.9	30.4	28.5	15.6	26.0	17.8	34.1	23.7	31.5	31.7	25.7	48.9
1982	36.5	34.1	26.1	21.9	12.8	13.5	24.2	19.8	27.7	S/D	S/D	S/D	36.5

MIN	18.7	21.1	18.2	18.2	6.1	0.3	0.4	9.6	11.8	15.6	13.6	18.1	29.5
MAX	48.8	61.7	56.6	61.3	35.4	26.0	26.7	96.2	53.0	60.3	42.8	35.9	96.2
PROM	33.5	35.5	35.8	29.5	18.9	13.2	13.1	26.7	25.2	29.4	28.1	28.7	48.8
DESV. STD	8.5	11.2	11.3	13.9	8.2	7.2	8.0	20.0	11.0	12.2	8.7	4.5	17.1



PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

ESTACION : PICHARI REGION : CUSCO ALTITUD : 540 m.s.n.m.
TIPO : PLUVIOMETRICA PROVINCIA : LA CONVENCION LATITUD : 12°31'19.90"
CODIGO : 000771 DISTRITO : PICHARI LONGITUD : 73°50'23.28"

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1964	S/D	S/D	35.6	33.2	19.0	17.8	17.4	14.4	22.5	15.2	44.2	42.5	44.2
1965	44.7	S/D	S/D	S/D	20.3	14.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	44.7
1966	S/D	52.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.3	S/D	46.0	37.2	52.8
1967	51.0	50.1	61.3	33.8	27.9	19.6	21.9	19.9	30.6	26.4	54.9	S/D	61.3
1968	43.7	48.2	56.2	35.0	19.4	21.7	19.4	22.4	23.6	33.1	39.1	52.3	56.2
1969	40.6	46.5	44.8	38.3	15.6	22.8	19.9	19.8	24.3	34.2	36.8	44.2	46.5
1970	33.2	51.8	51.0	37.2	18.0	21.0	20.6	23.9	27.8	28.9	54.0	49.8	54.0
1971	42.9	56.4	51.2	33.6	19.5	28.2	20.3	16.4	23.0	24.6	45.9	35.9	56.4
1972	30.0	44.8	35.4	31.2	26.1	14.3	13.5	20.2	22.2	21.9	33.4	41.7	44.8
1973	38.4	46.2	41.7	37.8	28.3	14.3	25.8	15.9	29.9	17.2	41.1	35.7	46.2
1974	49.2	53.5	55.5	37.6	23.9	19.7	23.7	18.0	18.3	17.8	49.3	45.8	55.5
1975	53.5	57.0	43.7	28.1	21.4	26.6	20.2	17.3	21.9	21.6	43.9	51.0	57.0
1976	53.5	46.1	46.6	38.1	23.4	21.2	26.1	16.7	25.7	28.1	37.6	42.1	53.5
1977	55.5	48.9	36.9	36.8	22.8	S/D	55.5						

MIN	30.0	44.8	35.4	28.1	15.6	14.3	13.5	14.4	18.3	15.2	33.4	35.7	44.2
MAX	55.5	57.0	61.3	38.3	28.3	28.2	26.1	23.9	30.6	34.2	54.9	52.3	61.3
PROM	44.7	50.2	46.7	35.1	22.0	20.2	20.8	18.6	24.0	24.5	43.9	43.5	52.0
DESV. STD	8.2	4.1	8.6	3.2	3.9	4.5	3.6	2.9	4.0	6.4	6.7	5.9	5.6



PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)



ESTACION : SIVIA REGION : AYACUCHO ALTITUD : 580
CODIGO : 006 PROVINCIA : HUANTA LATITUD : 12°30'00" S
DISTRITO : SIVIA LONGITUD : 73°51'00" W

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1972	21.2	35.3	24.4	23.5	15.1	11.1	10.0	15.5	12.7	12.8	25.0	26.7	35.3
1973	32.0	37.9	34.0	25.7	13.5	10.0	12.7	10.6	21.0	10.8	32.5	30.0	37.9
1974	39.0	42.0	52.2	25.2	12.5	12.0	10.0	11.8	12.3	10.6	43.5	38.0	52.2
1975	43.0	45.0	35.0	24.5	14.6	13.0	10.5	10.0	12.5	16.1	38.0	42.0	45.0
1976	39.0	42.0	34.0	26.0	10.5	14.5	12.0	11.0	12.2	17.9	28.0	38.0	42.0
1977	43.0	41.7	28.0	27.6	12.9	11.0	10.5	12.2	15.1	23.5	35.0	43.9	43.9
1978	32.9	44.3	39.7	26.4	12.0	13.2	12.2	12.9	15.1	23.1	34.2	34.5	44.3
1979	36.6	38.9	42.3	24.4	12.1	13.7	12.2	12.9	14.6	19.7	40.8	39.3	42.3
1980	34.5	40.1	37.6	24.4	11.6	10.8	10.5	10.9	12.2	16.5	26.2	32.5	40.1
1981	36.3	35.9	44.8	23.5	12.7	13.5	10.9	13.9	17.4	11.2	33.6	27.8	44.8
1982	38.1	40.3	36.1	25.5	15.1	10.2	10.5	11.5	19.9	12.0	37.2	41.9	41.9
1983	27.2	37.0	41.2	23.7	11.2	11.2	10.1	11.8	12.6	14.9	35.6	29.2	41.2
1984	32.5	41.8	24.9	23.5	14.6	12.3	12.7	12.4	17.3	12.5	42.9	28.0	42.9
1985	25.9	38.5	36.4	26.6	13.6	11.3	12.7	10.9	14.3	13.8	38.9	29.0	38.9
1986	35.9	42.2	41.1	26.9	13.2	10.7	11.2	10.3	12.9	16.8	41.3	43.3	43.3
1987	32.0	37.6	33.6	24.1	11.3	12.4	11.4	11.7	18.8	22.9	30.6	37.8	37.8
1988	27.6	36.4	31.0	26.5	14.5	10.5	11.2	13.6	16.7	10.7	28.3	43.2	43.2
1989	24.6	37.7	29.0	25.3	13.8	13.9	10.3	12.5	15.8	14.2	38.9	33.2	38.9
1990	31.2	42.0	27.6	25.9	14.3	12.1	11.4	15.5	13.8	18.5	37.0	41.3	42.0
1991	43.0	43.5	40.7	26.6	12.2	12.6	11.5	14.2	19.6	20.5	40.2	27.7	43.5

MIN	21.2	35.3	24.4	23.5	10.5	10.0	10.0	10.0	12.2	10.6	25.0	26.7	35.3
MAX	43.0	45.0	52.2	27.6	15.1	14.5	12.7	15.5	21.0	23.5	43.5	43.9	52.2
PROM	33.8	40.0	35.7	25.3	13.1	12.0	11.2	12.3	15.3	16.0	35.4	35.4	42.1
DESV. STD	6.3	2.9	7.1	1.3	1.4	1.3	0.9	1.6	2.9	4.3	5.5	6.2	3.5



PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)



ESTACION : TERESITA REGION : CUSCO ALTITUD : 648
 : ----- : LA m.s.n.m.
 CODIGO - PROVINCIA CONVENCION LATITUD : 12°33'01"
 DISTRITO : PICHARI LONGITUD : 73°48'01"

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1964	23.0	37.0	60.0	36.0	2.0	1.0	21.8	10.4	6.1	13.7	23.8	18.0	60.0
1965	21.6	33.5	20.5	16.0	26.6	5.5	7.2	8.0	30.0	24.2	15.9	28.0	33.5
1966	12.5	41.0	25.0	12.2	7.2	10.2	18.0	8.9	21.0	26.3	38.0	22.6	41.0
1967	38.7	19.6	35.0	31.2	4.7	1.6	17.0	12.9	15.0	18.2	17.5	25.3	38.7
1968	19.9	20.8	26.5	22.3	11.0	16.1	6.5	5.9	9.9	13.5	17.7	36.7	36.7
1969	34.8	11.6	40.2	29.5	26.8	9.4	7.2	5.2	7.5	12.5	35.0	22.2	40.2
1970	15.0	42.5	22.0	24.3	15.5	29.7	1.5	3.7	15.0	22.0	19.7	29.5	42.5
1971	32.0	16.4	35.4	16.6	13.7	3.0	5.4	25.2	15.0	8.8	17.7	13.4	35.4
1972	28.6	33.4	19.5	26.1	12.9	8.0	20.0	24.8	8.8	7.0	25.5	42.7	42.7
1973	30.6	28.2	25.9	26.6	4.0	5.5	20.8	24.5	14.3	34.0	35.7	29.2	35.7
1974	42.2	32.5	39.8	33.0	14.5	7.5	9.0	16.5	17.7	13.0	18.0	22.0	42.2
1975	35.0	33.5	26.5	16.9	10.9	4.0	2.9	27.3	14.2	16.5	42.4	32.6	42.4
1976	19.6	40.2	21.9	7.4	35.6	1.4	18.0	1.2	33.0	15.2	11.5	29.8	40.2
1977	35.8	21.0	21.2	15.8	60.2	7.5	0.0	0.0	21.1	8.5	19.8	28.3	60.2
1978	30.6	20.7	18.8	16.2	11.4	0.0	10.5	1.3	0.0	36.4	14.5	84.0	84.0
1979	19.8	32.1	27.2	38.1	17.0	7.7	23.5	12.3	2.8	11.2	31.2	33.4	38.1
1980	27.2	39.5	39.5	27.5	10.5	7.7	12.2	11.9	16.0	16.3	20.0	23.3	39.5
1986	46.2	62.0	48.8	89.1	11.2	28.5	0.0	0.0	17.0	20.3	25.9	32.4	89.1
1987	46.0	82.2	77.0	41.2	25.0	0.0	0.0	0.0	21.0	30.0	50.0	60.0	82.2
1988	29.0	35.7	30.4	21.0	18.0	0.0	21.5	24.8	44.0	22.4	28.4	37.4	44.0
1989	18.4	63.1	45.2	60.7	68.0	8.2	32.5	25.3	27.8	20.3	20.8	32.4	68.0
1990	48.1	52.5	47.2	48.9	19.4	7.7	12.2	11.9	17.0	56.0	39.8	40.8	56.0
1991	12.6	22.1	28.1	31.1	19.4	7.7	12.2	11.9	17.0	20.3	25.9	21.3	31.1

MIN	12.5	11.6	18.8	7.4	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	11.5	13.4	31.1
MAX	48.1	82.2	77.0	89.1	68.0	29.7	32.5	27.3	44.0	56.0	50.0	84.0	89.1
PROM	29.0	35.7	34.0	29.9	19.4	7.7	12.2	11.9	17.0	20.3	25.9	32.4	48.8
DESV. STD	10.8	16.7	14.4	17.8	16.2	7.8	8.9	9.4	9.9	11.0	10.1	14.8	17.1

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

ESTACION  : CIRIALO REGION : CUSCO ALTITUD  0.00m.s.n.m.
 CODIGO : 110675 A PROVINCIA : LA CONVENCION LATITUD : 12°25'00"
 DISTRITO : CIRIATO LONGITUD : 72°57'00"

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1964	44.9	44	12	10.2	30	30	0	4	25	29.6	33.3	46.8	46.8
1965	44.9	44	33.2	31.1	0	0	9.5	11.9	25	28	19	19	44.9
1966	44.9	55	33.2	31.1	19.8	10.7	9.5	11.9	25	29.6	33.3	46.8	55
1967	52	52	24	16.4	0	0	1.5	10	33	29.6	25	38	52
1968	21.4	3.8	19	10	18	32	10	0.9	24	30	28	46.8	46.8
1969	57	36.4	57	32	18	28.4	14	0.8	24	29	31	52.6	57
1970	42	34.2	28.2	49.2	23.2	10.2	0	48.2	1.8	31.4	31	55.5	55.5
1971	31	22	50	26	18	2.5	0	31	12.4	21	39	49	50
1972	54.2	67.2	43	23.2	68.4	12	32.2	22.4	0	25.2	35.4	85.2	85.2
1973	68	58.2	38.2	58.4	0	0	0	2.5	49.2	18.2	52	48.2	68
1974	56.2	74.2	30.2	67.2	18.2	13.2	35.2	0	0	24.2	24.2	29.4	74.2
1975	12.4	20.2	38.2	32.2	10	0	11.2	0.8	85.4	80.2	36.4	42.2	85.4
1976	51.2	61.6	24.2	29.4	0	0	0	10.5	24.2	0	0	59	61.6
1977	48.6	43.2	34.2	18.4	53	10.7	9.5	11.9	20.4	38.2	78.2	36.2	78.2

MIN	12.4	3.8	12	10	0	0	0	0	0	0	0	19	44.9
MAX	68	74.2	57	67.2	68.4	32	35.2	48.2	85.4	80.2	78.2	85.2	85.4
PROM	44.91	44	33.19	31.06	19.76	10.69	9.471	11.91	24.96	29.59	33.27	46.76	61.47
DESV. STD	14.7	19.55	11.92	16.94	20.11	11.73	11.48	13.75	21.96	17.03	17.36	15.26	14.26

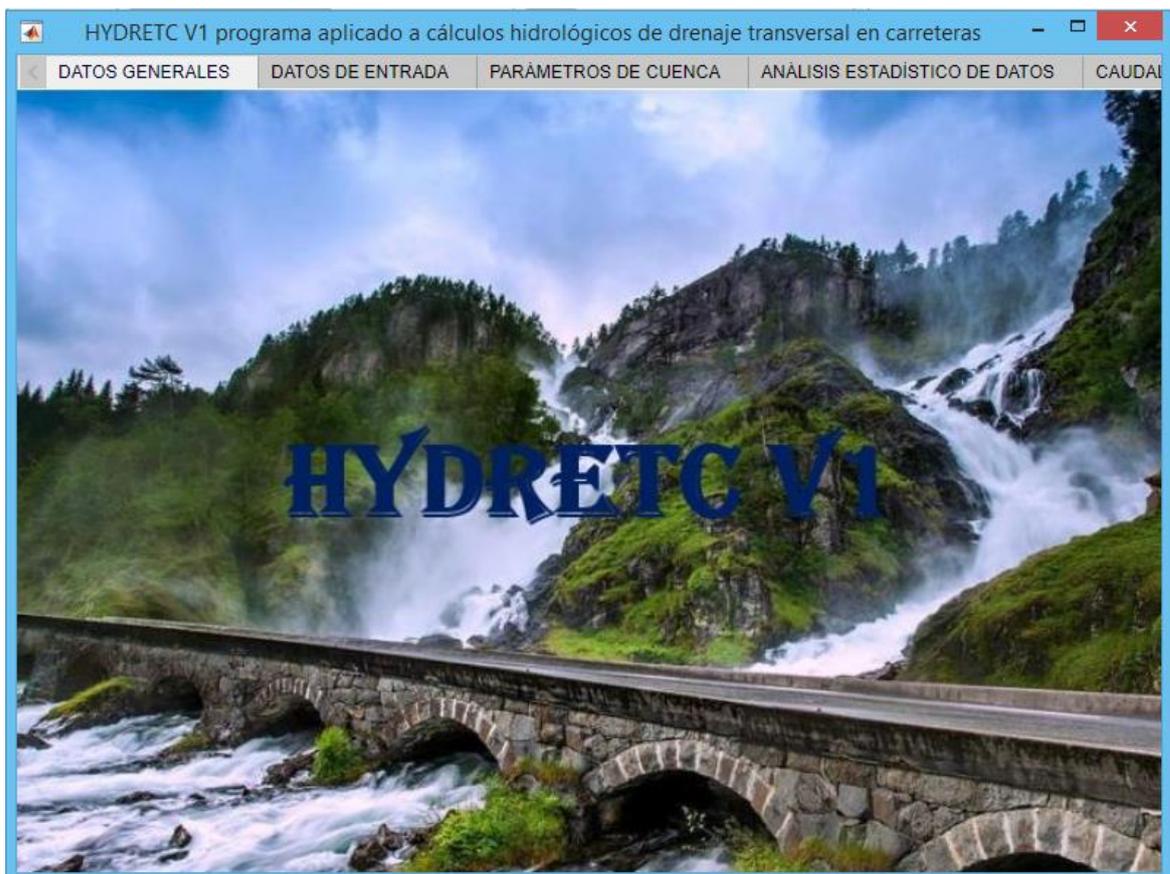
Manual de usuario

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA HYDRETC V1



PRESENTADO POR: Neil Ever Barzola Cisneros

Ayacucho - Perú

2021

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	li
ÍNDICE DE TABLAS	li
ÍNDICE DE FIGURAS	li
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y PROCESO DEL PROGRAMA HYDRETC V1	1
3. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA HYDRETC V1	3
4. INTERFAZ DEL PROGRAMA HYDRETC V1.....	6
4.1. Ventana de inicio	¡Error! Marcador no definido.
4.2. Datos generales.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3. Datos de entrada	¡Error! Marcador no definido.
4.4. Parámetros de cuenca	10
4.5. Análisis estadísticos de datos	11
4.5.1. Prueba de datos dudosos método de Water Resources.....	12
4.5.2. prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.....	12
4.5.3. Generación de precipitaciones máximas	14
4.5.4. tormenta de diseño (I-D-F).....	¡Error! Marcador no definido.
4.6. Cálculo de caudales máximos	18
4.6.1. Método racional.....	¡Error! Marcador no definido.
4.6.2. Método racional modificado o Temez.....	19
4.6.3. Método hidrograma unitario triangular del SCS	20
4.7. Resumen.....	21
4.8. Ayuda.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Características físicas de microcuencas, C, CN y Tr	2
Tabla 2.1: Precipitaciones máximas de 24 horas.....	2

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Selección de carpeta para la instalación.....	3
Figura 3.2: Selección de archivo MyAppInstaller_mcr.exe	3

Figura 3.3: Proceso de instalación.....	4
Figura 3.4: Proceso de instalación para crear acceso directo en el escritorio	4
Figura 3.5: Instalación del programa.....	5
Figura 3.6: Fin de instalación	5
Figura 4.1: Ventana de inicio	6
Figura 4.2: Ventana de datos generales	7
Figura 4.3: Ventana de datos de entrada (caract. de cuenca, Ce, CN y Tr).....	8
Figura 4.4: Ventana de datos de entrada (Precipitaciones máximas de 24 h)	9
Figura 4.5: Ventana para verificar los resultados de parámetros geomorfológicos	10
Figura 4.6: Ventana para verificar los resultados de Tiempos de concentración.....	11
Figura 4.7: Ventana para verificar la Prueba de datos dudosos.....	12
Figura 4.8: Ventana para verificar los resultados prueba de Kolmogorov – Smirnov	13
Figura 4.9: Ventana para verificar los resultados de generación de precipitaciones máxima de 24 horas	14
Figura 4.10: Ventana para verificar los resultados intensidades máximas menores a una hora	15
Figura 4.11: Ventana para verificar los resultados intensidades máximas menores a una hora	17
Figura 4.12: Ventana para verificar los resultados caudales máximo método racional	18
Figura 4.13: Ventana para verificar los resultados caudales máximo método racional modificado.....	19
Figura 4.14: Ventana para verificar los resultados caudales máximo método hidrograma unitario triangular del SCS.	20
Figura 4.15: Ventana para verificar los resultados generales de calculo hidrológico de drenaje transversal de carreteras.....	22
Figura 4.16: Ventana de ayuda al usuario	23

1. INTRODUCCIÓN

El programa HYDRETC V1, está diseñado para realizar cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras, optimizando el tiempo de cálculo y proporcionando resultados confiables.

El programa realiza los siguientes procesos: Importar datos de características físicas de cuencas o microcuencas, coeficiente de escurrimiento (C), número de curva (NC), periodo de retorno (Tr) y precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax). calcular los parámetros geomorfológicos y tiempos de concentración con los datos de características físicas de cuencas o microcuencas. Realizar el análisis de datos hidrológicos como: prueba de datos dudosos con el método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov mediante las distribuciones Normal, Log Normal, Gumbel y Log Gumbel, generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno mediante las distribuciones Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel, cálculo de la tormenta de diseño curvas (I-D-F) con los método de Dick Peschke y coeficiente de duración con los datos de precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax). Cálculo de caudales máximos por tres métodos: racional, racional modificado o Temez e Hidrograma Unitario Triangular del SCS para cada cuenca y por último reportar un informe de resultados del proceso de cálculo, además cuenta con un interfaz gráfico funcional y conciso de fácil manejo.

Para su mejor entendimiento del manual de usuario se desarrolló un ejemplo de aplicación de un sistema de drenaje transversal de carreteras.

2. REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y PROCESO DEL PROGRAMA HYDRETC V1

- a. **CPU:** Recomendablemente de Core – i3 para adelante
- b. **Tipo de sistema:** Sistema operativo de 64 bits.
- c. **Datos de entrada:** Se requiere dos archivos en formato txt o xlsx.

c.1 Características físicas de microcuencas, C, CN y Tr.

Tabla 2.1: Características físicas de microcuencas, C, CN y Tr

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Lca (km)	Cmca (msnm)	Cmcu (msnm)	Cs (msnm)	C	CN	Tr (años)
--------	-----------	----------------------	--------	----------	-------------	-------------	-----------	---	----	-----------

Donde:

Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.

Prog (km): Progresiva, en kilómetros.

A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

P (km): Perímetro, en kilómetros.

Lca (km): Longitud de cauce, en kilómetros.

Cmca (msnm): Cota mayor de cauce, en metros sobre el nivel del mar.

Cmcu (msnm): Cota mayor de cuenca, en metros sobre el nivel del mar.

Cs (msnm): Cota de salida, en metros sobre el nivel del mar.

C: Coeficiente de escorrentía.

CN: Numero de curva.

Tr (años): Periodo de retorno.

c.2 Precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)

Tabla 2.1: Precipitaciones máximas de 24 horas.

Nro	Año	Pmax (mm)
-----	-----	-----------

Donde:

Nro: Posición de dato.

Año: Año de registro.

Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en milímetros.

3. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA HYDRETC V1

Paso 1: abrir la carpeta que lleva por nombre HYDRETC en donde se encuentra los siguientes archivos.

 for_redistribution	27/10/2021 10:51 a...	Carpeta de archivos
 for_redistribution_files_only	27/10/2021 10:51 a...	Carpeta de archivos
 for_testing	27/10/2021 12:42 ...	Carpeta de archivos
 PackagingLog.html	27/10/2021 10:08 a...	Archivo HTML

Figura 3.1: Selección de carpeta para la instalación

Paso 2: abrir la carpeta for_redistribution descomprimir MyAppInstaller_mcr.zip y seleccionar MyAppInstaller_mcr.exe.

 data	27/10/2021 10:51 a...	Carpeta de archivos	
 MyAppInstaller_mcr.exe	27/10/2021 10:04 a...	Aplicación	1,789 KB
 MyAppInstaller_mcr.zip	27/10/2021 10:08 a...	WinRAR ZIP archive	2,053,205 KB
 readme.txt	27/10/2021 10:04 a...	Documento de tex...	1 KB

Figura 3.2: Selección de archivo MyAppInstaller_mcr.exe

Paso 3: Para continuar presionar “Next”.

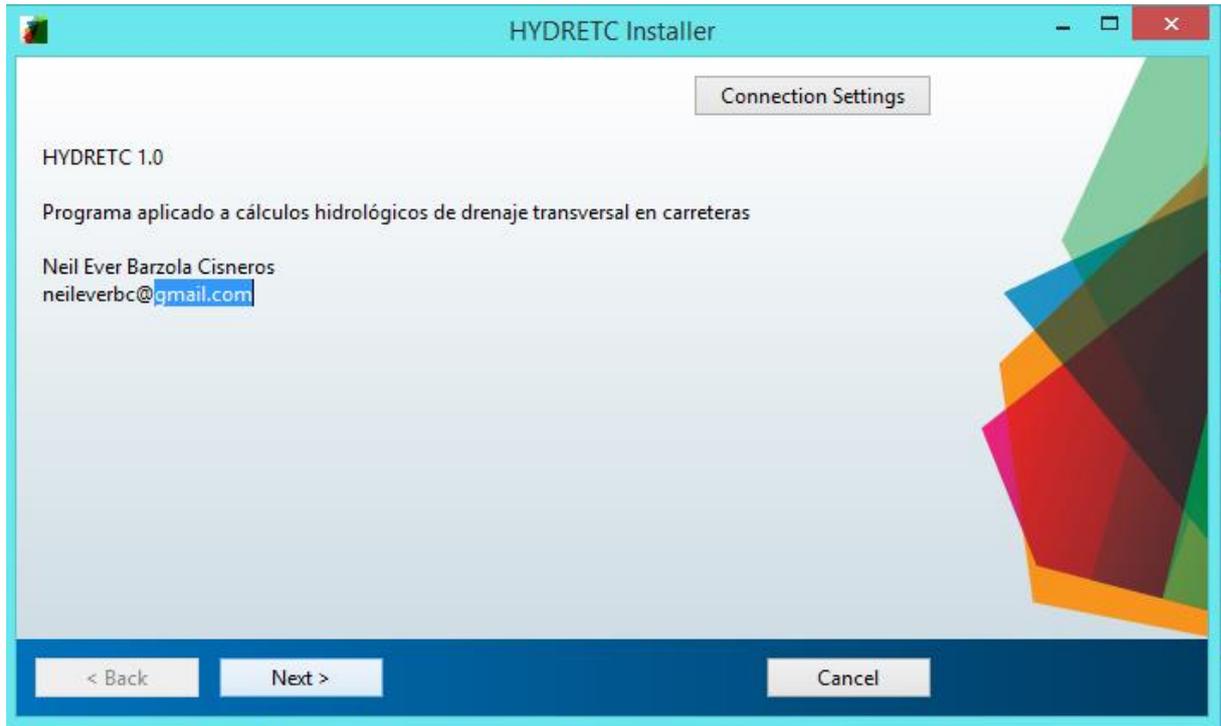


Figura 3.3: Proceso de instalación

Paso 4: Colocar check para crear el acceso en el escritorio y presionar “Next”.

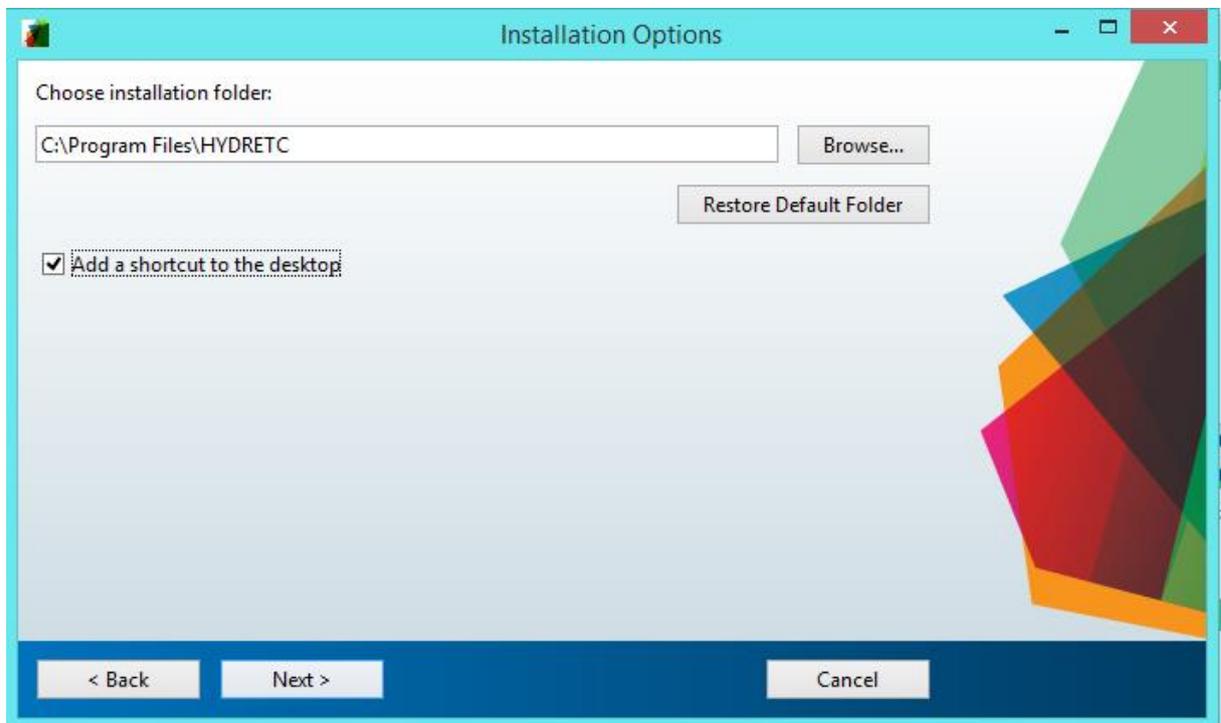


Figura 3.4: Proceso de instalación para crear acceso directo en el escritorio

Paso 5: Para continuar presionar “Install” y esperar la instalación.

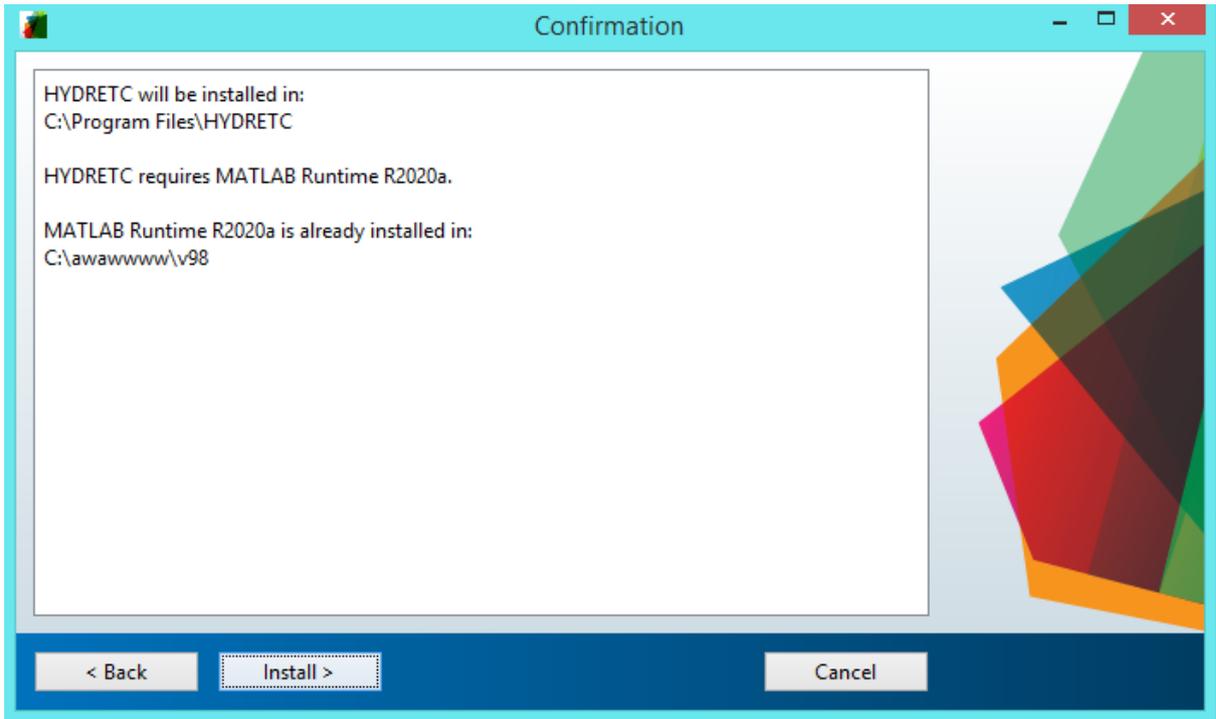


Figura 3.5: Instalación del programa

Paso 6: Para finalizar presione el botón “Finish”.

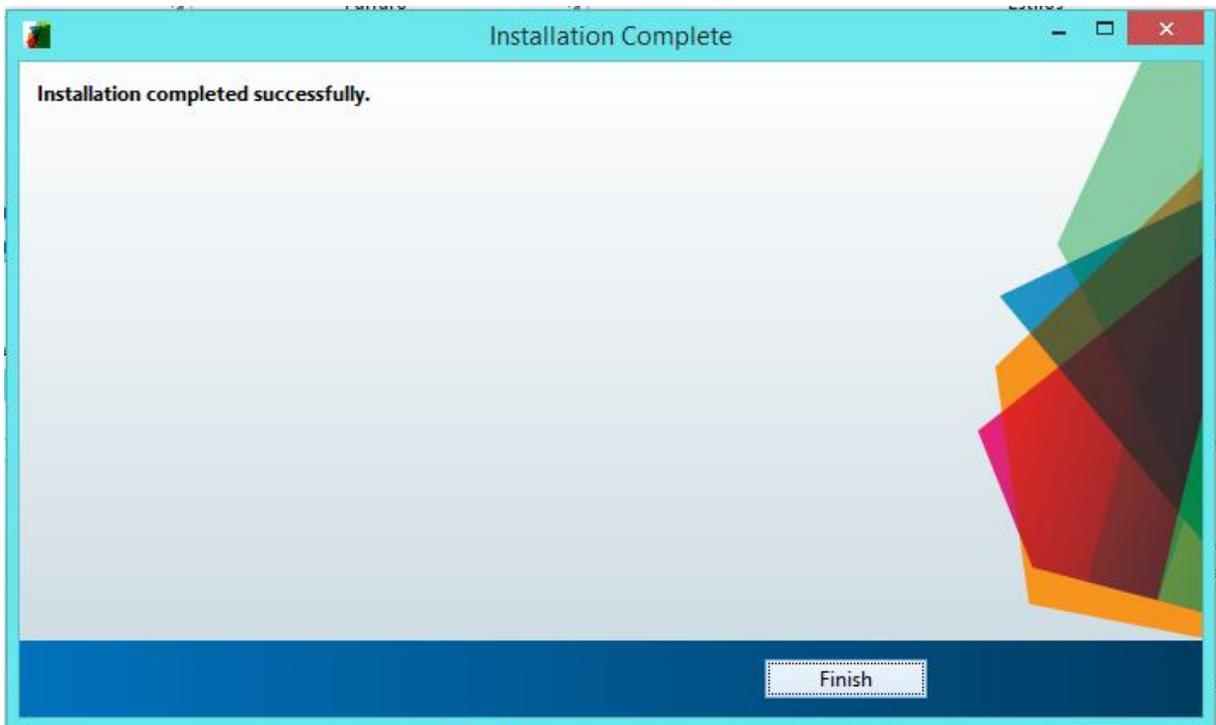


Figura 3.6: Fin de instalación

4. INTERFAZ DEL PROGRAMA HYDRETC V1

La interfaz gráfica del usuario del programa HYDRETC V1, está conformado con herramientas básicos para importar, procesar y exportar datos y con ventanas visuales para observar los resultados de cálculo, como se muestra a continuación.

4.1. Ventana de inicio

A la apertura del programa HYDRETC V1 se muestra la siguiente ventana a continuación se debe ingresar a datos generales o datos de entrada.



Figura 4.1: Ventana de inicio

4.2. Datos generales

Esta ventana sirve para ingresar los datos del proyecto desarrollado como el nombre y ubicación del proyecto, además, muestra un índice de los trabajos a desarrollarse en su proceso de cálculo.

1. Ingresar a datos generales

2. Ingresar nombre del proyecto

3. Ingresar la ubicación política y UTM del proyecto

4. Resumen de información a importarse y procesarse con el proyecto

Figura 4.2: Ventana de datos generales

4.3. Datos de entrada

La ventana de datos de entrada consta de dos sub-ventanas para ingresar datos de características físicas de microcuencas, C, CN, Tr y precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax).

a. Características físicas de microcuencas, C, CN, Tr

2. Ingresar a características físicas de cuencas C, CN y Tr

1. Ingresar a datos de entrada

3. Importar datos Características físicas de microcuencas, C, CN, Tr, de formato text o xlsx.

6. Editar datos, agregar y eliminar si es necesario

5. Verificar la cantidad de datos ingresados

4. Verificar en la tabla si los datos Son consistentes

Item	Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Lca (m)	Cmca (msnm)	Cmca (msnm)	Cmca (msnm)	Cs (msnm)
1	P-01	0+220	1.5300	6.7690	2.5560	1572	1579	919.0000	0.
2	A-01	0+340	0.0680	1.1640	0.2770	1011	1015	927.0000	0.
3	A-02	0+405	0.1310	1.8880	0.5400	1020	1039	923.0000	0.
4	A-03	0+460	0.0490	1.1010	0.2850	1.0013e+03	1.0073e+03	925.2100	0.
5	A-04	1+240	0.1250	1.8440	0.3330	984	989	909.5200	0.
6	A-05	1+340	0.0140	0.6430	0.1490	921	927	897.0000	0.
7	A-06	1+490	0.0440	0.9560	0.3410	964	973	886.5000	0.
8	A-07	1+600	0.0680	1.3810	0.3430	969	976	886.0000	0.
9	A-08	1+690	0.1580	1.7500	0.5200	992	1008	893.5000	0.

Figura 4.3: Ventana de datos de entrada (caract. de cuenca, Ce, CN y Tr)

Donde los datos a verificar de la tabla de características físicas de las microcuencas, C, CN y Tr son los siguientes:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.
- P (km): Perímetro, en kilómetros.
- Lca (km): Longitud de cauce, en kilómetros.
- Cmca (msnm): Cota mayor de cauce, en metros sobre el nivel del mar.
- Cmca (msnm): Cota mayor de cuenca, en metros sobre el nivel del mar.

- Cs (msnm): Cota de salida, en metros sobre el nivel del mar.
- C: Coeficiente de escorrentía.
- CN: Numero de curva.
- Tr (años): Periodo de retorno.

b. Precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)

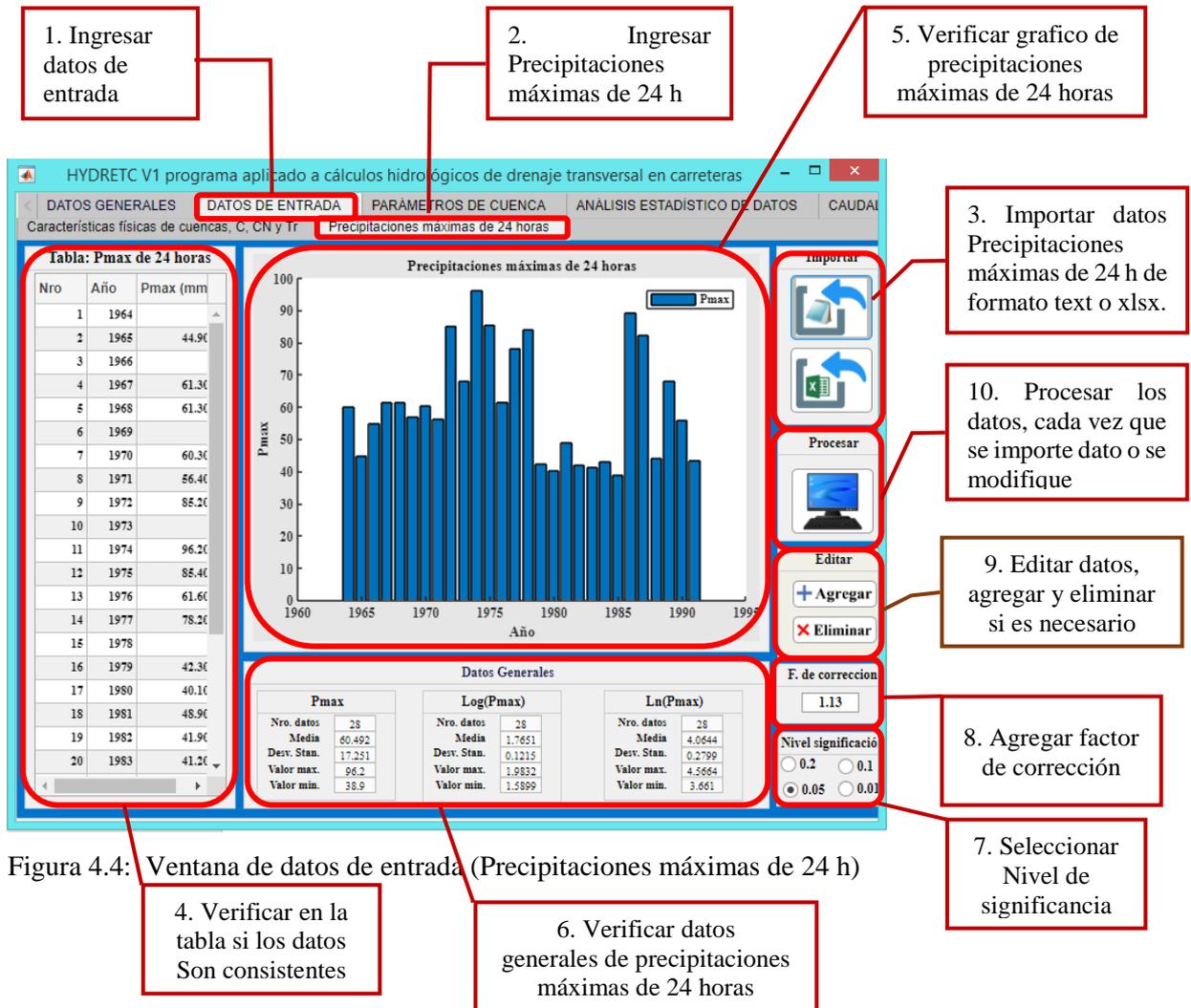


Figura 4.4: Ventana de datos de entrada (Precipitaciones máximas de 24 h)

Donde los datos a verificar de la tabla de precipitaciones máximas de 24 horas son los siguientes:

- Nro: Posición de dato.
- Año: Año de registro.
- Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en milímetros.

4.4. Parámetros de cuenca

La ventana de parámetros de cuenca consta de 02 sub-ventanas para mostrar los resultados de parámetros geomorfológicos y los tiempos de concentración (Tc).

a. parámetros geomorfológicos

1. Ingresar a parámetros de cuenca

2. Ingresar parámetros geomorfológicos

5. exportar tabla en formato xlsx de los resultados

3. Verificar la cantidad de datos Procesados

4. verificar los resultados de parámetros geomorfológicos

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/h)
P-01	0+220	1.5300	6.7690	1.5432	2.8471	0.5374	0.1887	0.2555	0.23
A-01	0+340	0.0680	1.1640	1.2588	0.4202	0.1618	0.3852	0.3032	0.209
A-02	0+405	0.1310	1.8880	1.4710	0.7750	0.1690	0.2181	0.1796	0.145
A-03	0+460	0.0490	1.1010	1.4026	0.4388	0.1117	0.2544	0.2668	0.186
A-04	1+240	0.1250	1.8440	1.4708	0.7568	0.1652	0.2182	0.2237	0.105
A-05	1+340	0.0140	0.6430	1.5325	0.2696	0.0519	0.1927	0.1611	0.111
A-06	1+490	0.0440	0.9560	1.2852	0.3535	0.1245	0.3520	0.2273	0.244
A-07	1+600	0.0680	1.3810	1.4934	0.5715	0.1190	0.2082	0.2420	0.157
A-08	1+690	0.1150	1.7500	1.2415	0.6203	0.2547	0.4107	0.1894	0.184

Figura 4.5: Ventana para verificar los resultados de parámetros geomorfológicos

Donde los datos a verificar de la tabla de parámetros geomorfológicos son los siguientes:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.
- P (km): Perímetro, en kilómetros.
- Kc: Índice de Gravelius
- L (km): Rectángulo equivalente lado mayor, en kilómetros.
- l (km): Rectángulo equivalente lado menor, en kilómetros.
- Fl: Factor forma.
- Sca (m/m): Pendiente de cauce, en metros sobre metros

- Scu (m/m): Pendiente de cuenca, en metros sobre metros
- Re: Relación de elongación.
- Rci: Relación de circularidad.

2. Ingresar Tiempo de concentración

1. Ingresar a parámetros de cuenca

3. exportar tabla en formato xlsx de los resultados

5. Verificar la cantidad de datos Procesados

5. verificar los resultados de parámetros geomorfológicos

Cuenca	Prog (km)	Lca (m)	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Kirpich (min)	Kirpich (h)	Temez (min)
P-01	0+220	2.5560	0.2555	0.2318	13.8470	0.2308	47.6016
A-01	0+340	0.2770	0.3032	0.2094	2.3420	0.0390	8.5117
A-02	0+405	0.5400	0.1796	0.1497	4.7904	0.0798	15.6156
A-03	0+460	0.2850	0.2668	0.1869	2.5148	0.0419	8.9120
A-04	1+240	0.3330	0.2237	0.1050	3.0343	0.0506	10.3731
A-05	1+340	0.1490	0.1611	0.1113	1.8536	0.0309	5.9918
A-06	1+490	0.3410	0.2273	0.2447	3.0713	0.0512	10.5298
A-07	1+600	0.3430	0.2420	0.1575	3.0115	0.0502	10.4515
A-08	1+690	0.5200	0.1894	0.1846	4.5591	0.0760	15.0218

Figura 4.6: Ventana para verificar los resultados de Tiempos de concentración

Donde los datos a verificar de la tabla de tiempos de concentración son los siguientes:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- Sca (m/m): Pendiente de cauce, en metros sobre metros.
- Scu (m/m): Pendiente de cuenca, en metros sobre metros.
- Kirpich (min): Tiempo de concentración.
- Kirpich (h): Tiempo de concentración.
- Temez (min): Tiempo de concentración.
- Temez (hr): Tiempo de concentración.

4.5. Análisis estadísticos de datos

La Análisis estadísticos de datos, consta de 05 sub-ventanas para mostrar los resultados de prueba de datos dudosos con el método de Water Resources Council, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, generación y selección de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno, cálculo de la tormenta de diseño curvas (I-D-F) con los métodos de Dick Peschke y Coeficiente de duración.

4.5.1. Prueba de datos dudosos método de Water Resources

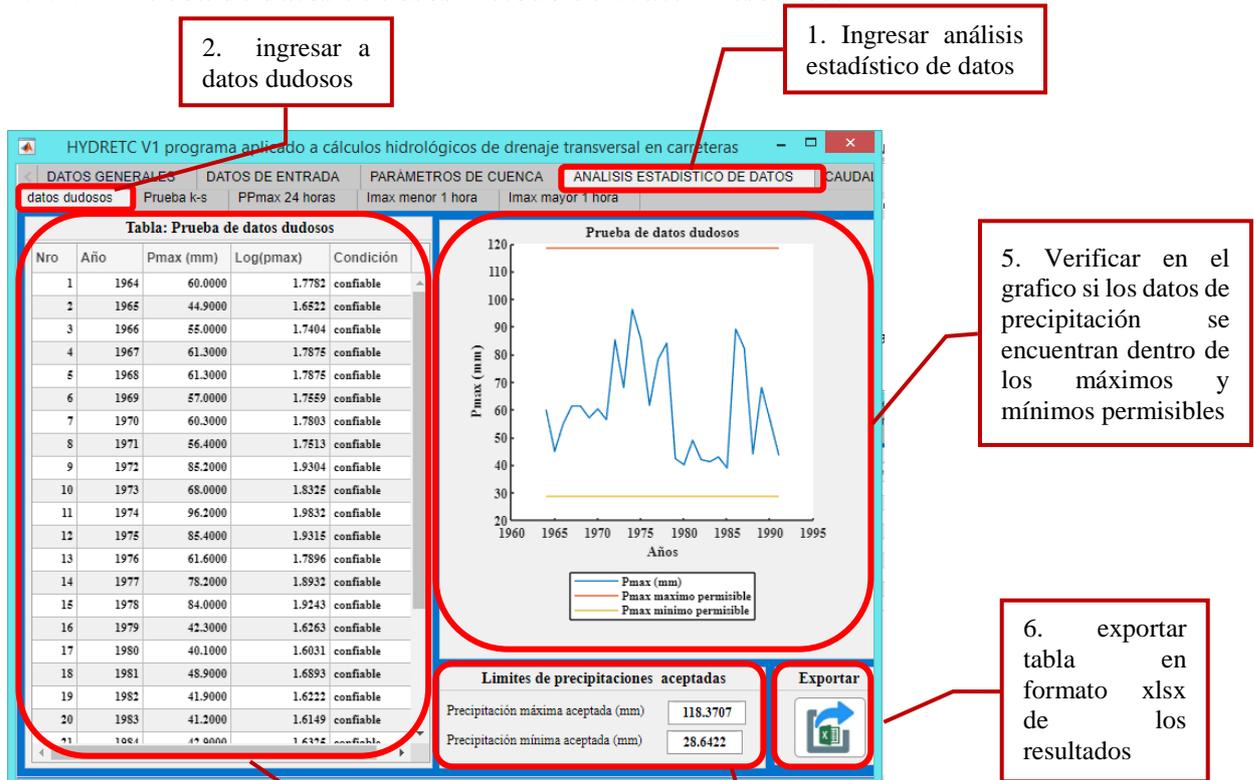


Figura 4.7: Ventana para verificar la Prueba de datos dudosos

Donde los datos a verificar de la tabla de prueba de datos dudosos son los siguientes:

- Nro: Posición de dato.
- Año: Año de registro.
- Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en milímetros.
- Log (Pmax): Logaritmo de Precipitaciones máximas de 24 horas.
- Condición: Condición de dato confiable y/o atípico.

4.5.2. prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov



Figura 4.8: Ventana para verificar los resultados prueba de Kolmogorov – Smirnov

Donde los datos a verificar de la tabla de Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov son los siguientes:

- Nro: Posición de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Pmax (mm): Precipitaciones máximas de 24 horas, en (mm), ordenados ascendentemente.
- P(x): Probabilidad observada.
- Normal (Fx): Probabilidad estimada con la distribución Normal.
- Normal (D): Diferencia entre P(x) y Normal (Fx).
- LogNormal (Fx): Probabilidad estimada con la distribución LogNormal.
- LogNormal (D): Diferencia entre P(x) y LogNormal (Fx).
- Gumbel (Fx): Probabilidad estimada con la distribución Gumbel.
- Gumbel (D): Diferencia entre P(x) y Gumbel (Fx).
- LogGumbel (Fx): Probabilidad estimada con la distribución LogGumbel.
- LogGumbel (D): Diferencia entre P(x) y LogGumbel (Fx).

4.5.3. Generación de precipitaciones máximas

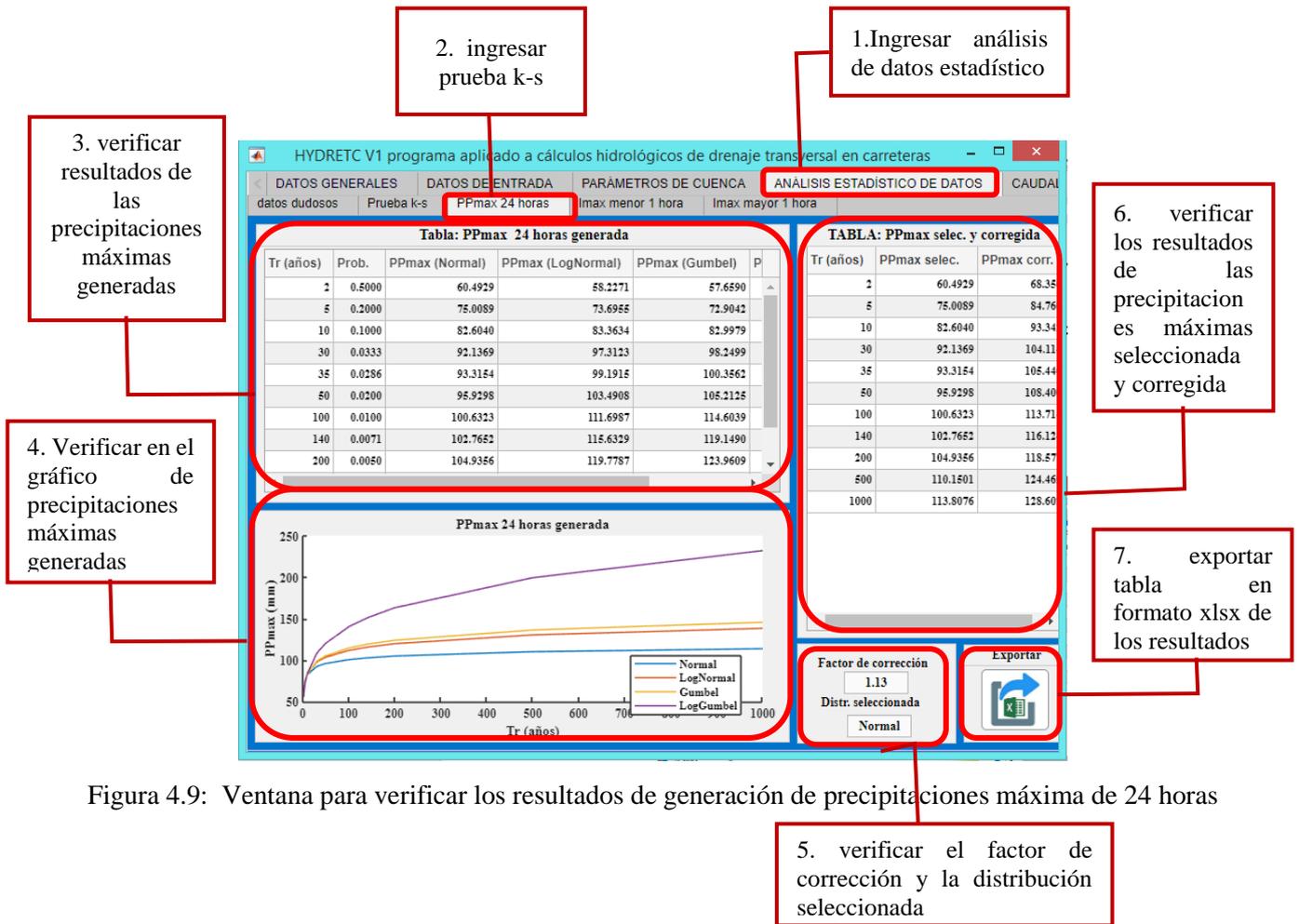


Figura 4.9: Ventana para verificar los resultados de generación de precipitaciones máxima de 24 horas

Donde los datos a verificar de la tabla de la tabla de generación de precipitaciones máxima de 24 horas son los siguientes:

- Tr (años): Periodo de retorno.
- Prob: Probabilidad de ocurrencia.
- PPmax (Normal): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución Normal.
- PPmax (LogNormal): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución LogNormal.
- PPmax (Gumbel): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución Gumbel.
- PPmax (LogGumbel): Precipitación máxima de 24 horas generada con la distribución LogGumbel.

Donde: datos a verificar de la tabla de precipitación máxima de 24 horas seleccionada y corregida.

- Tr (años): Periodo de retorno.
- PPmax selec.: Precipitación máxima seleccionada, en milímetros.
- PPmax corr.: Precipitación máxima corregida, en milímetros.

4.5.4. tormenta de diseño (I-D-F)

a) Curvas (I-D-F) menores a una hora (Dick Peschke)

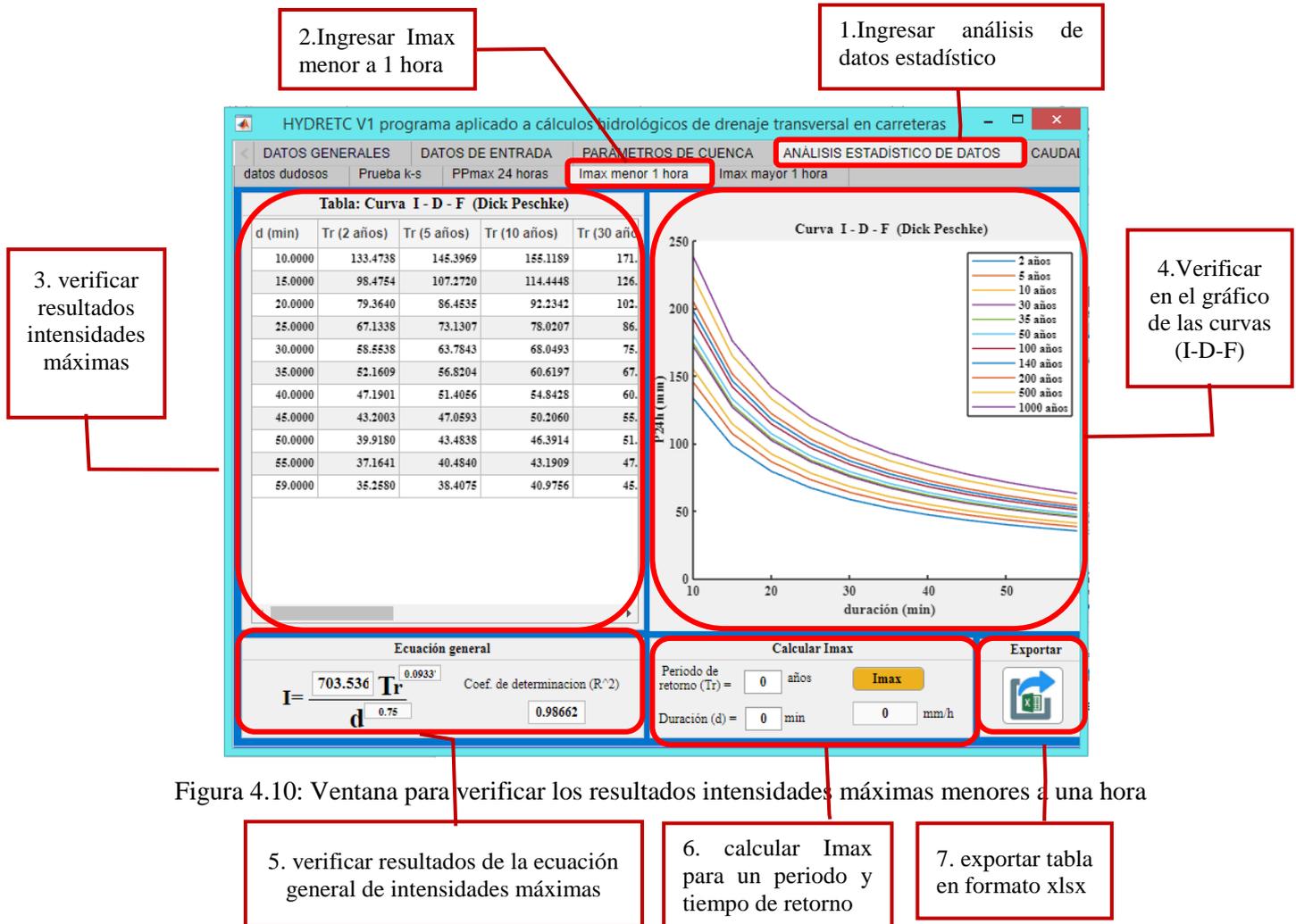


Figura 4.10: Ventana para verificar los resultados intensidades máximas menores a una hora

Donde los datos a verificar de la tabla de curvas (I-D-F) menores a una hora (Dick Peschke) son los siguientes:

- $d(\text{min})$: Duración de tormenta, en minutos.
- Tr (2 años): Periodo de retorno de 2 años.
- Tr (5 años): Periodo de retorno de 5 años.
- Tr (10 años): Periodo de retorno de 10 años.
- Tr (30 años): Periodo de retorno de 30 años.
- Tr (35 años): Periodo de retorno de 35 años.
- Tr (50 años): Periodo de retorno de 50 años.
- Tr (100 años): Periodo de retorno de 100 años.
- Tr (140 años): Periodo de retorno de 140 años.
- Tr (200 años): Periodo de retorno de 200 años.
- Tr (500 años): Periodo de retorno de 500 años.
- Tr (1000 años): Periodo de retorno de 1000 años.

b) Curvas (I-D-F) mayores a una hora (Coeficientes de duración)

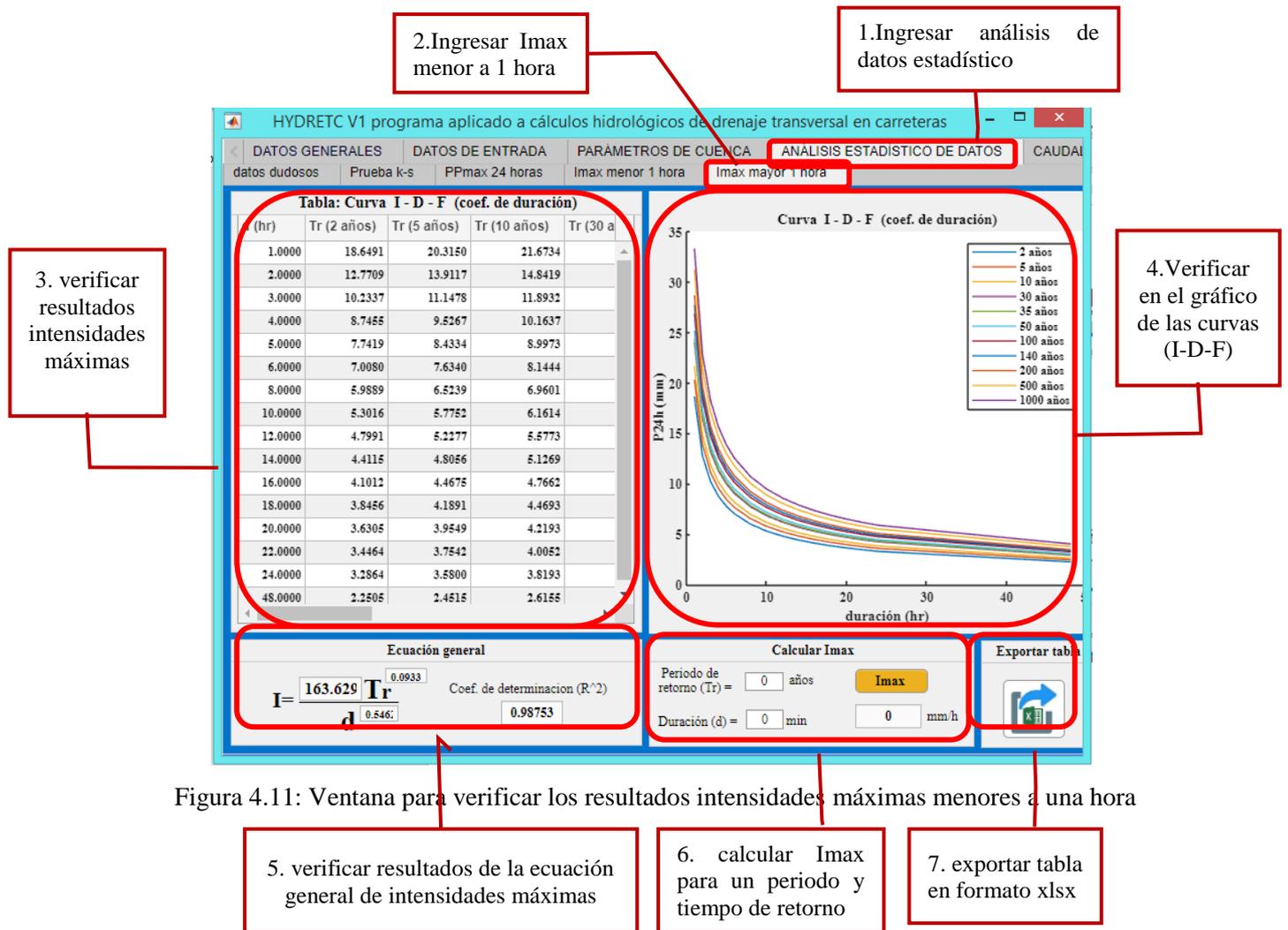


Figura 4.11: Ventana para verificar los resultados intensidades máximas menores a una hora

Donde los datos a verificar de la tabla de curvas (I-D-F) mayores a una hora (Coeficientes de duración) son los siguientes:

- d (h): Duración de tormenta, en horas.
- Tr (2 años): Periodo de retorno de 2 años.
- Tr (5 años): Periodo de retorno de 5 años.
- Tr (10 años): Periodo de retorno de 10 años.
- Tr (30 años): Periodo de retorno de 30 años.
- Tr (35 años): Periodo de retorno de 35 años.
- Tr (50 años): Periodo de retorno de 50 años.

- Tr (100 años): Periodo de retorno de 100 años.
- Tr (140 años): Periodo de retorno de 140 años.
- Tr (200 años): Periodo de retorno de 200 años.
- Tr (500 años): Periodo de retorno de 500 años.
- Tr (1000 años): Periodo de retorno de 1000 años.

4.6. Cálculo de caudales máximos

La ventana de caudales máximos que consta de 03 sub-ventanas para visualizar los resultados de cálculo de caudales máximos, con los métodos el método de racional, racional modificado e hidrograma unitario triangular del SCS respectivamente además cuenta con una opción para exportar datos a Microsoft Excel.

4.6.1. Método racional

2. Ingresar Método racional

1. Ingresar a caudales máximos

5. exportar tabla en formato xlsx de los resultados

4. Verificar la cantidad de datos Procesados

3. verificar los resultados de caudales máximos

Tabla: Caudales máximos método racional (Qr)							
Cuenca	Prog (km)	A (km2)	Tc (min)	Tr (años)	I (mm/hr)	C	Qr (m3/s)
P-01	0+220	1.5300	13.8470	140	155.4784	0.4000	26.4825
A-01	0+340	0.0680	10.0000	71	186.2746	0.4000	1.4085
A-02	0+405	0.1310	10.0000	71	186.2746	0.4000	2.7135
A-03	0+460	0.0490	10.0000	71	186.2746	0.4000	1.0150
A-04	1+240	0.1250	10.0000	71	186.2746	0.4000	2.5892
A-05	1+340	0.0140	10.0000	71	186.2746	0.4000	0.2900
A-06	1+490	0.0440	10.0000	71	186.2746	0.4000	0.9114
A-07	1+600	0.0680	10.0000	71	186.2746	0.4000	1.4085
A-08	1+690	0.1550	10.0000	71	186.2746	0.4000	3.2725

Figura 4.12: Ventana para verificar los resultados caudales máximo método racional

Donde los datos a verificar de la tabla de caudales máximo método racional son los siguientes:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.
- Tc (min): Tiempo de concentración, en minutos con el método Kirpich.
- Tr (años): Periodo de retorno.
- I (mm/h): Intensidades máximas, en milímetros por hora.
- C: Coeficiente de escorrentía.
- Qr (m³/s): Caudal máximo con el método racional, en metros cúbicos por segundo.

4.6.2. Método racional modificado o Temez

2. Ingresar Método racional modificado

1. Ingresar a caudales máximos

5. exportar tabla en formato xlsx de los resultados

4. Verificar la cantidad de datos Procesados

3. verificar los resultados de caudales máximos

Cuenca	Prog (km)	A (km ²)	Tc (min)	Tr (años)	CN	K	Ka	P24h (mm)	P (mm)
P-01	0+220	1.5300	0.7934	140	77	1.0508	0.9877	114.5849	113.17
A-01	0+340	0.0680	0.1667	71	77	1.0075	1.0778	107.5487	115.911
A-02	0+405	0.1310	0.2603	71	77	1.0131	1.0588	107.5487	113.87
A-03	0+460	0.0490	0.1667	71	77	1.0075	1.0873	107.5487	116.931
A-04	1+240	0.1250	0.1729	71	77	1.0079	1.0602	107.5487	114.021
A-05	1+340	0.0140	0.1667	71	77	1.0075	1.1236	107.5487	120.831
A-06	1+490	0.0440	0.1755	71	77	1.0080	1.0904	107.5487	117.271
A-07	1+600	0.0680	0.1742	71	77	1.0080	1.0778	107.5487	115.911
A-08	1+690	0.1580	0.2504	71	77	1.0125	1.0534	107.5487	113.291

Figura 4.13: Ventana para verificar los resultados caudales máximo método racional modificado

Donde los datos a verificar de la tabla de caudales máximo método racional modificado o Temez son los siguientes:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.

- Tc (h): Tiempo de concentración, en horas con el método Temez.
- Tr (años): Periodo de retorno.
- K: Coeficiente de Uniformidad.
- KA: Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor.
- P24h (mm): Precipitación máxima de 24 horas, en milímetros.
- P (mm): Precipitación máxima corregida, en milímetros.
- I(mm/h): Intensidad de Precipitación, en milímetros por hora.
- Po: Umbral de escorrentía.
- C: Coeficiente de Escorrentía.
- Qt (m³/s): Caudales máximos con el método racional modificado o Temez, en metros cúbicos por segundo.

4.6.3. Método hidrograma unitario triangular del SCS

2. Método hidrograma unitario triangular del SCS

1. Ingresar a caudales máximos

5. exportar tabla en formato xls de los resultados

4. Verificar la cantidad de datos Procesados

3. verificar los resultados de caudales máximos

Cuenca	Prog (km)	A (km2)	Tc (min)	Tr (años)	CN	P24h (mm)	Pe (mm)	de (hr)
P-01	0+220	1.5300	0.2308	140	77	114.5849	56.3810	0.9608
A-01	0+340	0.0680	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165
A-02	0+405	0.1310	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165
A-03	0+460	0.0490	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165
A-04	1+240	0.1250	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165
A-05	1+340	0.0140	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165
A-06	1+490	0.0440	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165
A-07	1+600	0.0680	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165
A-08	1+690	0.1580	0.1667	71	77	107.5457	50.7158	0.8165

Figura 4.14: Ventana para verificar los resultados caudales máximo método hidrograma unitario triangular del SCS.

Donde los datos a verificar de la tabla de caudales máximo método hidrograma unitario triangular del SCS son los siguientes:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.
- Tc (min): Tiempo de concentración, en minutos con el método Kirpich.
- Tr (años): Periodo de retorno.
- CN: Numero de curva.
- P24h (mm): Precipitación máxima de 24 horas, en milímetros.
- Pe (mm): Precipitación efectiva, en milímetros.
- de (h): Duración en exceso, en horas.
- tr (h): Tiempo de retraso, en horas.
- Tp (h): Tiempo pico, en horas.
- Tre (h): Tiempo de recisión, en horas.
- Tb (h): Tiempo base, en horas.
- Qhut (m³/s): Caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular, en metros cúbicos por segundo.

4.7. Resumen

La ventana de resumen sirve para visualizar el resumen de los caudales máximos, número de cuencas procesadas, numero de datos de registro de precipitaciones máximos de 24 horas, limite máxima y mínima aceptada de la prueba de datos dudosos con el método de Water Resources Council, distribución más representativa o la más se ajusta de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, parámetros de ecuación general de intensidades máximas y opción para exportar informe en formato pdf y anexos de tabla en formato xlsx.

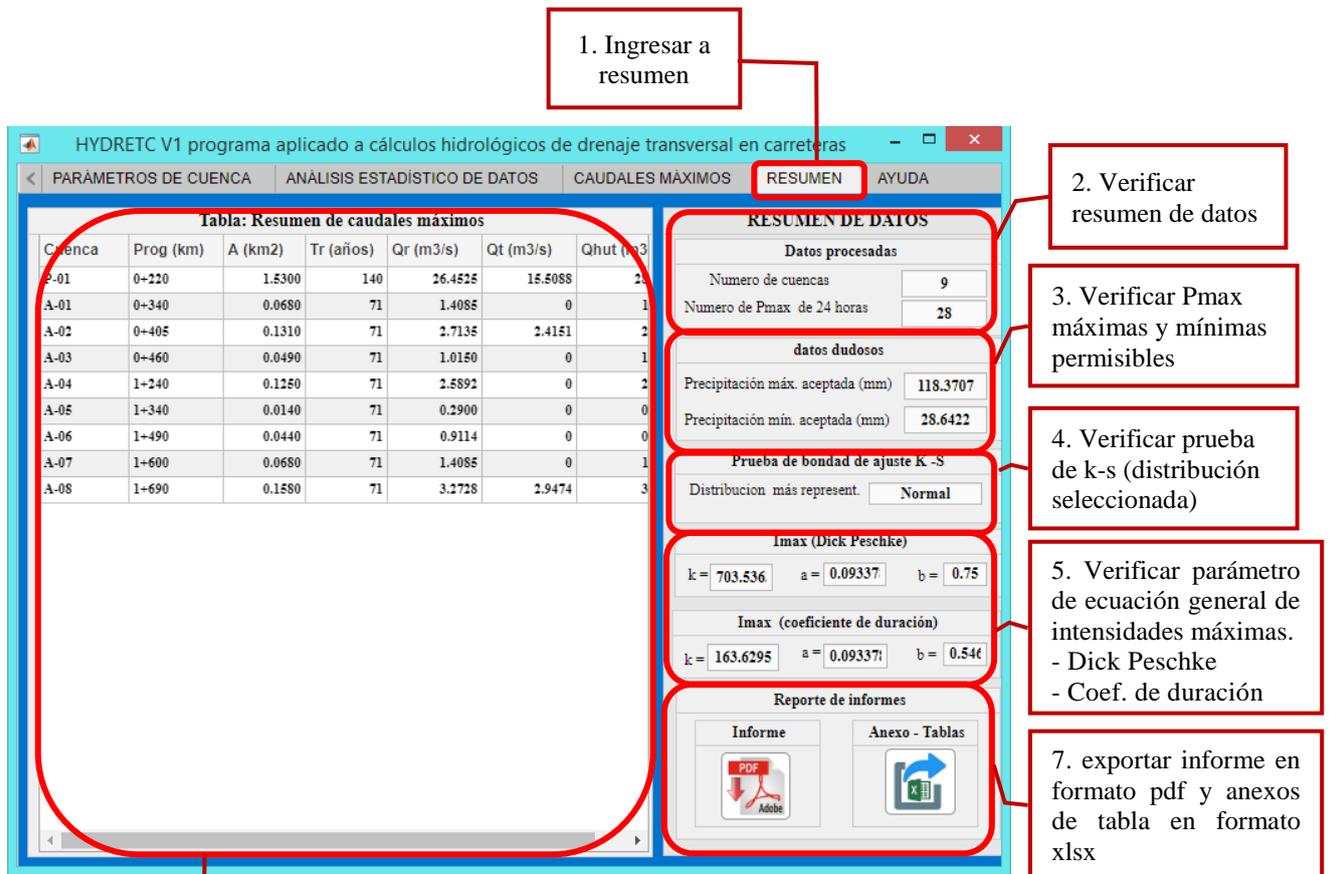


Figura 4.15: Ventana para verificar los resultados generales de calculo hidrológico de drenaje transversal de carreteras

6. verificar los resultados de caudales máximos

Donde los datos a verificar de la tabla de resumen de caudales máximo por los métodos racional, racional modificado o Temez, e hidrograma unitario triangular son los siguientes:

- Cuenca: Cuenca o microcuenca en estudio.
- Prog (km): Progresiva, en kilómetros.
- A (km²): Área, en kilómetros cuadrados.
- P (km): Perímetro, en kilómetros.
- Qr (m³/s): Caudal máximo con el método racional, en metros cúbicos por segundo.
- Qt (m³/s): Caudales máximos con el método racional modificado o Temez, en metros cúbicos por segundo.
- Qhut (m³/s): Caudales máximos con el método hidrograma unitario triangular, en metros cúbicos por segundo.

4.8. Ayuda

La ventana de ayuda contiene el manual de usuario del programa HYDRETC V, para la ayuda al usuario en caso de que se tenga dificultades en el uso del programa.

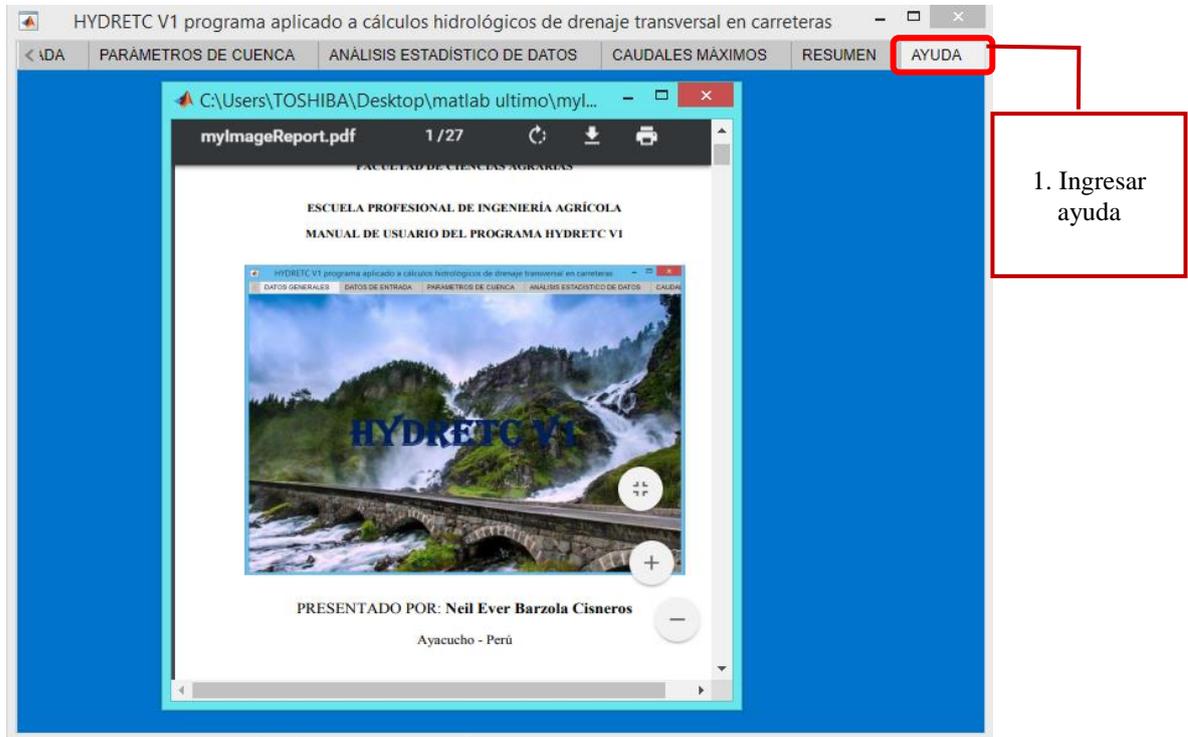


Figura 4.16: Ventana de ayuda al usuario

Informe

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE DRENAJE TRANSVERSAL EN CARRETERAS.

PROYECTO.

PROYECTO: .“Mejoramiento y ampliación de camino vecinal entre las comunidades de Manitea Baja-Unión Rosales del distrito de Kimbiri, la Convención, Cusco” .

UBICACIÓN DEL PROYECTO.

UBICACIÓN POLÍTICA.

DEPARTAMENTO: .Cuzco

PROVINCIA: .La Convención DISTRITO: .Kimbiri

LOCALIDAD: .M.Baja, U.Rosales

TRAMO: .0+00 @ 1+700

UBICACION UTM.

ESTE: .454544

NORTE: .84848451

ALTITUD: .680 msnm

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE DRENAJE TRANSVERSAL EN CARRETERAS

1. TRABAJOS PRELIMINARES

Para la elaboración del estudio hidrológico de drenaje transversal en carreteras se requiere realizar trabajos preliminares de campo y de gabinete.

1.1. Trabajo de campo. - Se identifica la ubicación de las estructuras de drenaje, tipo de estructura a Construirse, tipo de suelo y vegetación que lo conforman a cada uno de las áreas de aporte del sistema de drenaje, entre otros.

1.2. Trabajo de gabinete. - Se determina las características físicas cada uno de las cuencas o microcuencas aportantes al sistema de drenaje por medio de los programas como (AutoCAD civil, ArcGIS, Qgis), también se determina el coeficiente de escurrimiento (C), numero de curva (CN), periodo de retorno (T_r) según tipo de estructura propuesta y además se elige las estaciones meteorológicas a utilizarse.

Los datos obtenidos de los trabajos preliminares de campo y de gabinete, son de suma importancia porque los cálculos posteriores a realizarse nos permitirán conocer el comportamiento de los regímenes de flujo de agua de cada uno de las microcuencas del sistema de drenaje. El periodo de retorno está definido según tipo de estructura proyectada, los datos obtenidos de los trabajos de campo y de gabinete son los siguientes.

1.2.1. Cuenca

Nombre de la cuenca o microcuenca a evaluarse.

1.2.2. progresiva (Prog)

Es la ubicación de los puntos de salida de cuencas o microcuencas, esta expresado en Kilómetros (km).

1.2.3. Área (A)

Es el área plana en proyección horizontal, de forma muy irregular, obtenida después de delimitar la cuenca, esta expresada en kilómetros cuadrados (km^2).

1.2.4. Perímetro (P)

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca. esta expresada en kilómetros cuadrados (km).

1.2.5. Longitud de cauce (Lca)

Es la distancia equivalente que recorre el río entre el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba y el punto de desagüe aguas abajo, esta expresada en metros (m).

1.2.6. Cota más alto del cauce (Cmca)

Es la cota topográfica más alta del río, esta expresada en metros sobre el nivel del mar (msnm).

1.2.7. Cota más alto de la cuenca (Cmca)

Es la cota topográfica más alta de la cuenca, esta expresada en metros sobre el nivel del mar (msnm).

1.2.8. Cota de salida de cuenca (Cs)

Es la cota topográfica del punto de desagüe aguas debajo de la cuenca, esta expresada en metros sobre el nivel del mar (msnm).

1.2.9. Coeficiente de escorrentía (C)

Es la parte de la precipitación que fluye por la superficie del terreno con cauce definido o en el interior del mismo, su valor se establece de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas. se muestra en la **Tabla 1.1:**

Tabla 1.1: Coeficientes de escorrentía

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

1.2.10. Números de curva (CN)

El número de curva (CN) es un método para calcular la precipitación efectiva producida por una tormenta en una determinada área. toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad, como se muestra en la **Tabla 1.2:**

Tabla 1.2: Números de Curva en función del uso del suelo y del grupo hidrológico del suelo

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	tronco delgado, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos del golf, cementerio, etc.					
	óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeable)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeable)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos, pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
	Pavimentos con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	grava	76	85	89	91
	tierra	72	82	87	89

1.2.11. Periodo de retorno (Tr)

Es el número de años en que, en promedio, se presenta un evento se llama periodo de retorno, intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia, esta expresada en años. y está en función a su vida útil y su riesgo admisible de la estructura, el periodo de retorno para diferentes estructuras se muestra en la **Tabla 1.3:**

$$Tr = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/n}}$$

Donde:

Tr: Periodo de retorno, en (años).

R: Riesgo admisible.

n: Vida útil de la estructura.

Tabla 1.3: Periodo de retorno para estructuras

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (R) (%)	VIDA UTIL (n)	PERIODO DE RETORNO (Tr)
Puentes (*)	25	40	140
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30	25	71
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35	15	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40	15	30
Subdrenes	40	15	30
Defensas Ribereñas	25	40	140

Cuenca, Progresiva (Prog), área (A), perímetro (P), longitud de cauce (Lca), cota mayor de cauce (Cmca), cota mayor de cuenca (Cmcu), cota de salida (Cs), coeficiente de escorrentía (C), numero de curva (CN) Periodo de retorno (Tr) se muestra en la **Tabla 1.4:**

Tabla 1.4: Características físicas de microcuencas, C, CN y Tr

Cuenca	Prog (km)	A (km²)	P (km)	Lca (km)	Cmca (msnm)	Cmcu (msnm)	Cs (msnm)	C	CN	Tr (años)
P-01	0+220.0	1.53	6.769	2.556	1572	1579	919	0.4	77	140
A-01	0+340.0	0.068	1.164	0.277	1011	1015	927	0.4	77	71
A-02	0+405.0	0.131	1.888	0.54	1020	1039	923	0.4	77	71
A-03	0+460.0	0.049	1.101	0.285	1001.25	1007.25	925.21	0.4	77	71
A-04	1+240.0	0.125	1.844	0.333	984	989	909.52	0.4	77	71
A-05	1+340.0	0.014	0.643	0.149	921	927	897	0.4	77	71
A-06	1+490.0	0.044	0.956	0.341	964	973	886.5	0.4	77	71
A-07	1+600.0	0.068	1.381	0.343	969	976	886	0.4	77	71
A-08	1+690.0	0.158	1.75	0.52	992	1008	893.5	0.4	77	71

1.3. Selección de estación meteorológica

Las estaciones meteorológicas elegidas estarán ubicadas dentro o cercanas del ámbito del Proyecto, en caso de no existir se tomarán las estaciones con semejanzas en características geográficas y altitudinales a la ubicación del proyecto. Los datos tomados serán el registro de precipitaciones máximas de 24 horas con las cuales se estimará las precipitaciones máximas para un tiempo determinado y periodo de retorno, los cuales servirán para el cálculo de caudales máximos. los cuales mencionamos a continuación.

1.3.1. Número (Nro)

Es la posición y cantidad de datos registrados de precipitaciones máximas de 24 horas.

1.3.2. Año

Es el registro de los datos de precipitaciones máximas de 24 horas de cada año.

1.3.3. precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)

Es el total de la lluvia que en 24 horas se registra en el programa de observaciones de las estaciones meteorológicas del país y corresponde a la precipitación ocurrida entre las 07 horas de un cierto día y las 07 horas del día siguiente, los cuales servirán para determinar los eventos extremos, esta expresada en milímetros (mm).

La posición (Nro), año de registro y las precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax), se muestra en la **Tabla 1.5:**

Tabla 1.5: precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)

Nro.	AÑO	PP MAX.
1	1964	60
2	1965	44.9
3	1966	55
4	1967	61.3
5	1968	61.3
6	1969	57
7	1970	60.3
8	1971	56.4
9	1972	85.2
10	1973	68
11	1974	96.2
12	1975	85.4
13	1976	61.6
14	1977	78.2
15	1978	84
16	1979	42.3
17	1980	40.1
18	1981	48.9
19	1982	41.9
20	1983	41.2
21	1984	42.9
22	1985	38.9
23	1986	89.1
24	1987	82.2
25	1988	44
26	1989	68
27	1990	56
28	1991	43.5

Precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)

Numero de datos (n) =28

Valor máximo =96.2mm

Valor mínimo =38.9mm

Promedio (\bar{x}) =60.4929

Desviación estándar (S) =17.251

Log(Pmax)

Valor máximo =1.9832mm

Valor mínimo =1.5899mm

Promedio (\bar{Y}) =1.7651

Desviación estándar(SY) =0.12159

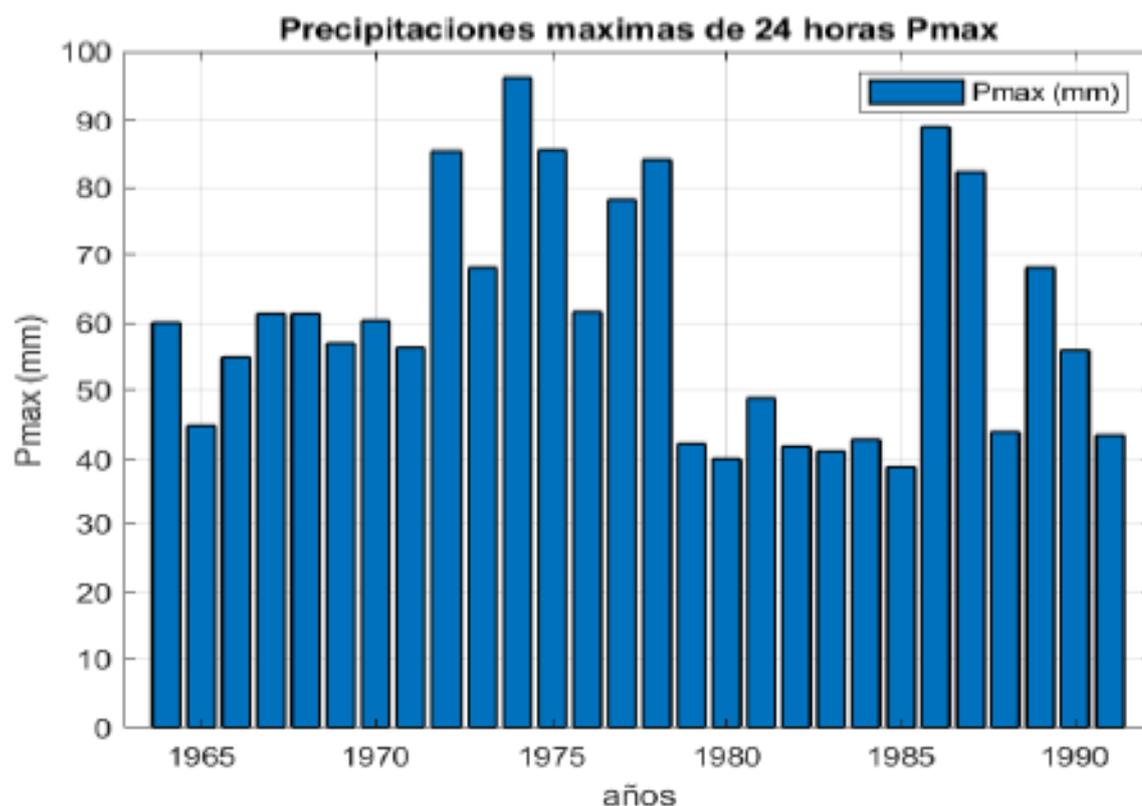
Ln(Pmax)

Valor máximo =4.5664mm

Valor mínimo =3.661mm

Promedio (\bar{y}) =4.0644

Desviación estándar (Sy) =0.27998



2. CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CUENCA

2.1. Parámetros geomorfológicos de microcuencas

El cálculo de los parámetros geomorfológicos es el reflejo de las características de la cuenca o microcuenca en cuanto a su forma y la influencia en la respuesta a las precipitaciones, La geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que, a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros:

2.1.1. Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (K_c)

Tiene fundamental importancia en la cantidad de esorrentía para una misma área y una misma intensidad de lluvia, dado que una cuenca pequeña y redondeada, tenderá a concentrar con mayor rapidez sus escurrimientos, en contra de una alargada que tardará más tiempo en llevarlos a su punto de salida. Las cuencas pequeñas y redondas suelen ocasionar inundaciones, sobre todo si presentan fuertes pendientes que les imprima gran velocidad a las aguas. El caudal de salida depende directamente de la forma de la hoya, la cual puede expresarse por un factor “ K_c ” adimensional, llamado índice de compacidad o coeficiente de Gravelius y que se expresa como:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K_c : Coeficiente de compacidad o de Gravelius, (adimensional)

P: Perímetro de la cuenca, en (Km)

A: Área de la cuenca, en (km²)

2.1.2. Rectángulo equivalente (L) y (I)

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca de su forma heterogénea. con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (y por lo tanto el mismo índice de compacidad o índice de Gravelious), igual distribución de alturas e igual distribución de terreno, en cuanto a sus condiciones de cobertura. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curva de nivel.

Lado mayor (L)

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{1.128}{K_c^2}} \right]$$

Lado menor (l)

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1.128}{K_c^2}} \right]$$

Donde:

L: Lado mayor del rectángulo, en (Km).

l: Lado menor del rectángulo, en (Km).

Kc: Coeficiente de compacidad o de Gravelius, (adimensional).

A: Área de la cuenca, en (km²).

2.1.3. Factor Forma (Fl)

El factor de forma es la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca (L) se mide siguiendo el curso del agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la cuenca. El ancho promedio se obtiene dividiendo el área de la cuenca por la longitud de la cuenca.

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

Donde:

Fl: Factor forma

L: Lado mayor del rectángulo, en (Km)

A: Área de la cuenca, en (km²)

2.1.4. Pendiente de la Cauce Criterio. del Rectángulo Equivalente (Sca)

La pendiente del cauce influye sobre la velocidad de flujo, es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico en el tránsito de avenidas.

$$Sca = \frac{Smca - Cs}{Lca}$$

Donde:

Sca: Pendiente de la Cauce, en (m/m)

Lca: Longitud de cauce, en (Km)

Smca: Cota mayor de cauce, en (msnm)

Cs: Cota menor o salida del cauce, en (msnm)

2.1.5. Pendiente de la Cuenca Criterio del Rectángulo Equivalente (Scu)

La pendiente de una cuenca, es un parámetro que tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de lluvia en los canales de drenaje.

$$S_{cu} = \frac{H}{L} = \frac{S_{m_{cu}} - C_s}{L}$$

Donde:

S_{cu}: Pendiente de la Cuenca, en m/m

H: Desnivel de cuenca, en (m)

L: Lado mayor del rectángulo, en (Km)

S_{m_{cu}}: Cota mayor de cuenca, en (msnm)

C_s: Cota menor o salida de la cuenca, en (msnm)

2.1.6. Relación de Elongación (Re)

la relación entre el diámetro de un círculo (D) de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (L). Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) queda.

$$Re = 1.11284 * \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Donde:

Re: Relación de elongación

L: Lado mayor del rectángulo, en (Km)

A: Área de la cuenca, en (km²)

2.1.7. Relación de circularidad (Rci)

La relación de circularidad, (Rci), denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca.

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Donde:

R_{ci}: Relación de circularidad

P: Perímetro de la cuenca, en (Km)

A: Área de la cuenca, en (km²)

Cuando R_{ci}=1, la cuenca es circular y si R_{ci} =0.785, la cuenca es cuadrada.

Cuenca, Progresiva (Prog), Área (km²), Perímetro (P), índice de Gravelius (Kc), Rectángulo equivalente (L) y (l), Factor forma (Fl), Pendiente de la Cauce (Sca), Pendiente de la Cuenca (S_{cu}), Relación de Elongación (Re) y Relación de circularidad (Rci) de las cuencas o microcuencas se muestra en la **Tabla 2.1:**

Tabla 2.1: Parámetros geomorfológicos

Cuenca	Prog (km)	A (km²)	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Re	Rci
P-01	0+220	1.53	6.769	1.543	2.847	0.537	0.189	0.255	0.232	0.49	0.42
A-01	0+340	0.068	1.164	1.259	0.42	0.162	0.385	0.303	0.209	0.7	0.631
A-02	0+405	0.131	1.888	1.471	0.775	0.169	0.218	0.18	0.15	0.527	0.462
A-03	0+460	0.049	1.101	1.403	0.439	0.112	0.254	0.267	0.187	0.569	0.508
A-04	1+240	0.125	1.844	1.471	0.757	0.165	0.218	0.224	0.105	0.527	0.462
A-05	1+340	0.014	0.643	1.532	0.27	0.052	0.193	0.161	0.111	0.495	0.426
A-06	1+490	0.044	0.956	1.285	0.354	0.124	0.352	0.227	0.245	0.669	0.605
A-07	1+600	0.068	1.381	1.493	0.572	0.119	0.208	0.242	0.157	0.515	0.448
A-08	1+690	0.158	1.75	1.242	0.62	0.255	0.411	0.189	0.185	0.723	0.648

2.2. Tiempos de concentración

El cálculo de tiempos de concentración nos permite conocer el periodo de tiempo necesario para que el escurrimiento de una tormenta fluya desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje a la salida de la misma.

Según (NORMA OS.060) menciona que en ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos.

Métodos más usados para calcular el tiempo de concentración.

2.2.1. Método de Kirpich

$$T_c = 0.01947 Lca * Sca^{-0.385}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración, en (min)

Lca: Longitud de cauce, en (m)

Sca: Pendiente de cauce, en (m/m)

2.2.2. Método de Temez

$$T_c = 0.30 * \left[\frac{Lca}{Sca^{0.25}} \right]^{0.76} 60$$

DONDE

T_c : Tiempo de concentración, en (h)

Lca: Longitud de cauce, en (km)

Sca: Pendiente de cauce, en (m/m)

Cuenca, Progresiva (Prog), Longitud de cauce (Lca), Pendiente de cauce (Sca), Pendiente de la cuenca (Scu) y Los tiempos de concentración (T_c) de las cuencas o microcuencas por los métodos de Kirpich, y Temez en unidades de minutos y horas, se muestra en la **Tabla 2.2:**

Tabla 2.2: Tiempo de concentración

Cuenca	Prog (km)	Lca (km)	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Kirpich (min)	Kirpich (h)	Temez (min)	Temez (h)
P-01	0+220	2.556	0.255	0.232	13.847	0.231	47.602	0.793
A-01	0+340	0.277	0.303	0.209	2.342	0.039	8.512	0.142
A-02	0+405	0.54	0.18	0.15	4.79	0.08	15.616	0.26
A-03	0+460	0.285	0.267	0.187	2.515	0.042	8.912	0.149
A-04	1+240	0.333	0.224	0.105	3.034	0.051	10.373	0.173
A-05	1+340	0.149	0.161	0.111	1.854	0.031	5.992	0.1
A-06	1+490	0.341	0.227	0.245	3.071	0.051	10.53	0.175
A-07	1+600	0.343	0.242	0.157	3.012	0.05	10.451	0.174
A-08	1+690	0.52	0.189	0.185	4.559	0.076	15.022	0.25

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS

Antes de iniciar cualquier análisis o utilizar los datos observados en las estaciones pluviométricas, es necesario realizar ciertas verificaciones de los valores de precipitación. Los datos hidrológicos en general, están constituidos por una larga secuencia de observaciones. No obstante que un registro largo sea lo deseable, se debe reconocer que cuando más largo es el periodo de registro, mayor será la posibilidad de error.

3.1. Prueba de datos dudosos

Los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de información restante. La retención o eliminación de estos parámetros puede variar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos requieren un criterio que involucra consideraciones matemáticas e hidrológicas.

3.1.1. Precipitación máxima aceptada límite superior.

Umbral de datos dudosos altos (X_h)

$$X_h = \bar{y} + Kn * S_y$$

Precipitación máxima aceptada (Ph)

$$Ph = 10^{Xh}$$

3.1.2. Precipitación mínima aceptada límite inferior.

Umbral de datos dudosos bajos (X_l)

$$X_l = \bar{y} - Kn * S_y$$

Precipitación mínima aceptada (Pl)

$$Pl = 10^{Xl}$$

Donde:

Ph: Precipitación máxima aceptada en (mm).

Pl: Precipitación mínima aceptada, en (mm).

Kn: Valor para la prueba de datos dudosos que depende del tamaño de la muestra.

\bar{y}_g : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de $Y_g = \text{Log}(\text{Pmax})$.

S_g : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de $Y_g = \text{Log}(\text{Pmax})$.

La posición (Nro), año, precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax), logaritmo de precipitaciones máximas ($\text{Log}(\text{Pmax})$) y la condición de dato se muestra en la **Tabla 3.1:**

Tabla 3.1: Prueba de datos dudosos (método de Water Resources Council)

Nro	Año	Pmax (mm)	log (pmax)	Condición
1	1964	60	1.778	confiable
2	1965	44.9	1.652	confiable
3	1966	55	1.74	confiable
4	1967	61.3	1.787	confiable
5	1968	61.3	1.787	confiable
6	1969	57	1.756	confiable
7	1970	60.3	1.78	confiable
8	1971	56.4	1.751	confiable
9	1972	85.2	1.93	confiable
10	1973	68	1.833	confiable
11	1974	96.2	1.983	confiable
12	1975	85.4	1.931	confiable
13	1976	61.6	1.79	confiable
14	1977	78.2	1.893	confiable
15	1978	84	1.924	confiable
16	1979	42.3	1.626	confiable
17	1980	40.1	1.603	confiable
18	1981	48.9	1.689	confiable
19	1982	41.9	1.622	confiable
20	1983	41.2	1.615	confiable
21	1984	42.9	1.632	confiable
22	1985	38.9	1.59	confiable
23	1986	89.1	1.95	confiable
24	1987	82.2	1.915	confiable
25	1988	44	1.643	confiable
26	1989	68	1.833	confiable
27	1990	56	1.748	confiable
28	1991	43.5	1.638	confiable

Valor de factores para el análisis de datos dudosos

Numero de datos (n) =28

Valor de prueba (kn) =2.534

Promedio (\bar{Y}) =1.7651

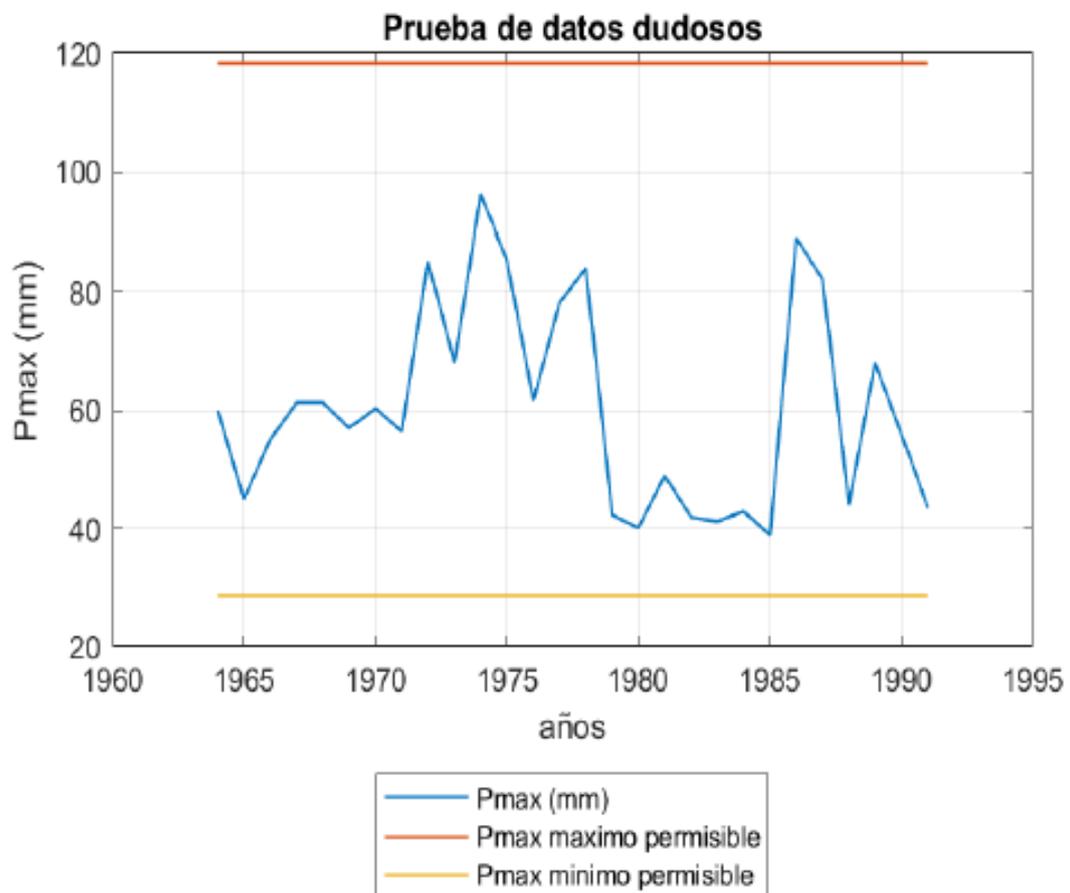
Desviación estándar(SY) =0.12159

Precipitación máxima aceptada (Ph)

Ph =118.3707mm

Precipitación mínima aceptada (Pl)

Pl =28.6422mm



3.2. Pruebas de bondad de ajuste

Define que las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

3.2.1. Prueba de Smirnov – Kolmogorov

Consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $p(x)$ y la estimada $f(x)$, con un valor crítico (d) según el número de datos y el nivel de significancia; si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución de lo contrario rechaza.

$$D = \max|f(x) - P(x)|$$

Donde:

$P(x)$: Probabilidad observada o empírica.

$f(x)$: función de densidad de probabilidad estimada o teórica

3.2.1.1. Precipitaciones máximas de 24 horas (Pmax)

Es el total de la lluvia que en 24 horas se registra en el programa de observaciones de las estaciones. ordenados ascendentemente.

3.2.1.2. Probabilidad observada o empírica (P(x))

Probabilidad observada o empírica se calcula.

$$P(x) = \frac{m}{n + 1}$$

Donde:

m : posición de dato

n : número datos

3.2.1.3. Distribución normal

a. función de densidad de probabilidad estimada o teórica ($f(x)$)

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}}{S}\right)^2}$$

Donde:

x_i = Observaciones número i de la variable $X = P_{max}$.

\bar{x} = parámetro de localización, igual a la media aritmética de $X = P_{max}$.

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de $X = P_{max}$.

b. Prueba de Kolmogorov – Smirnov de Normal

Si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución Normal de lo contrario rechaza.

3.2.1.4. Distribución logNormal

a. Función de densidad de probabilidad estimada o teórica ($f(x)$)

$$f(x) = \frac{1}{S_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right)^2}$$

Donde:

y_i : Observaciones número i de la variable $Y = \text{Ln}(P_{\text{max}})$.

\bar{y} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de Y .

S_y : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de Y .

b. Prueba de Kolmogorov – Smirnov de LogNormal

Si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución LogNormal de lo contrario rechaza.

3.2.1.5. Distribución Gumbel

a. Función de densidad de probabilidad estimada o teórica ($f(x)$)

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

Parámetro de concentración (α)

$$\alpha = \frac{\pi}{S\sqrt{6}}$$

Parámetro de localización (β)

$$\beta = \bar{x} - 0.45S$$

Donde:

X : Variable independiente.

x_i : Observaciones número i de la variable X .

\bar{x} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de X .

S : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de X .

b. Prueba de Kolmogorov - Smirnov de Gumbel

Si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución Gumbel de lo contrario rechaza.

3.2.1.6. Distribución LogGumbel

La variable aleatoria reducida LogGumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

a. Función acumulada reducida log Gumbel $f(x)$

$$f(x) = e^{-e^{-y}}$$

Parámetro (α)

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S_y$$

Parámetro (μ)

$$\mu = \bar{y} - 0.5772156649\alpha$$

Donde:

Y: Variable independiente.

\bar{y} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de Y.

S_y : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de Y.

b. Prueba de Kolmogorov - Smirnov de LogGumbel (D)

Si el valor $D < d$ los datos de precipitaciones máximas de 24 horas se ajustan a la función de distribución LogGumbel de lo contrario rechaza.

La posición (Nro), Precitaciones máximas de 24 horas (Pmax), probabilidad observada $p(x)$ y la prueba de bondad de ajuste con las distribuciones (Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel) se muestra en la **Tabla: 3.2**

Tabla 3.2: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Nro	Pmax (mm)	Px	Normal (Fx)	Normal (D)	LogNormal (Fx)	LogNormal (D)	Gumbel (Fx)	Gumbel (D)	LogGumbel (Fx)	LogGumbel (D)
1	38.9	0.034	0.105	0.071	0.075	0.04	0.061	0.027	0.028	0.006
2	40.1	0.069	0.119	0.05	0.091	0.022	0.078	0.009	0.045	0.024
3	41.2	0.103	0.132	0.028	0.108	0.005	0.095	0.009	0.065	0.039
4	41.9	0.138	0.141	0.003	0.12	0.018	0.107	0.031	0.079	0.059
5	42.3	0.172	0.146	0.027	0.127	0.046	0.114	0.058	0.088	0.084
6	42.9	0.207	0.154	0.053	0.138	0.069	0.125	0.082	0.103	0.104
7	43.5	0.241	0.162	0.079	0.149	0.093	0.137	0.104	0.118	0.123
8	44	0.276	0.17	0.106	0.158	0.117	0.148	0.128	0.132	0.144
9	44.9	0.31	0.183	0.127	0.177	0.134	0.167	0.143	0.158	0.153
10	48.9	0.345	0.251	0.094	0.266	0.078	0.265	0.08	0.287	0.058
11	55	0.379	0.375	0.004	0.419	0.04	0.43	0.05	0.482	0.103
12	56	0.414	0.397	0.017	0.445	0.031	0.456	0.043	0.511	0.097
13	56.4	0.448	0.406	0.042	0.455	0.006	0.467	0.019	0.522	0.074
14	57	0.483	0.42	0.063	0.47	0.013	0.483	0	0.538	0.056
15	60	0.517	0.489	0.029	0.543	0.025	0.559	0.041	0.613	0.096
16	60.3	0.552	0.496	0.056	0.55	0.002	0.566	0.014	0.62	0.068
17	61.3	0.586	0.519	0.068	0.573	0.013	0.589	0.003	0.642	0.056
18	61.3	0.621	0.519	0.102	0.573	0.048	0.589	0.031	0.642	0.021
19	61.6	0.655	0.526	0.13	0.58	0.075	0.596	0.059	0.648	0.007
20	68	0.69	0.668	0.021	0.71	0.021	0.725	0.036	0.759	0.069
21	68	0.724	0.668	0.056	0.71	0.014	0.725	0.001	0.759	0.035
22	78.2	0.759	0.848	0.089	0.854	0.095	0.86	0.102	0.865	0.106
23	82.2	0.793	0.896	0.103	0.891	0.098	0.894	0.101	0.891	0.098
24	84	0.828	0.914	0.086	0.905	0.077	0.907	0.079	0.901	0.073
25	85.2	0.862	0.924	0.062	0.913	0.051	0.914	0.052	0.906	0.044
26	85.4	0.897	0.926	0.029	0.914	0.018	0.916	0.019	0.907	0.011
27	89.1	0.931	0.951	0.02	0.936	0.005	0.935	0.004	0.923	0.008
28	96.2	0.966	0.981	0.015	0.964	0.002	0.961	0.004	0.945	0.02

Evaluación de datos de Kolmogorov-Smirnov

Nivel de significancia = 5%

delta tabular (d) = 0.25702

delta Normal (D) = 0.12959 ----- Se ajusta

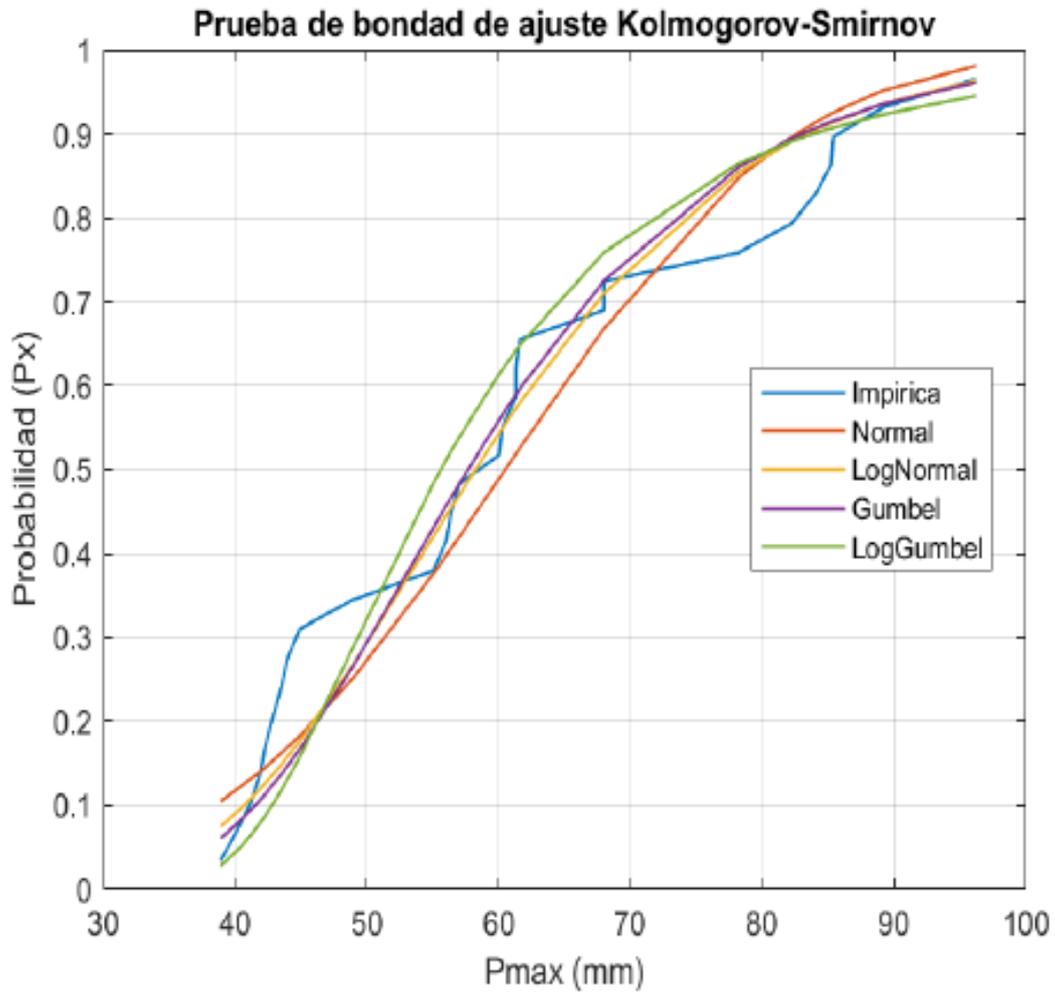
delta LogNormal (D) = 0.13373 ----- Se ajusta

delta Gumbel (D) = 0.14336 ----- Se ajusta

delta LogGumbel (D) = 0.15259 ----- Se ajusta

Distribución más representativa o la que más se ajusta

Distribución más representativa o la que más se ajusta = Normal



3.3. Análisis de frecuencia de eventos extremos

El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Se supone que la información hidrológica analizada es independiente y está idénticamente distribuida, y el sistema hidrológico que la produce (por ejemplo, un sistema de tormenta) se considera estocástico, independiente del espacio y del tiempo.

3.3.1. Generación de precipitaciones máximas utilizando factores de frecuencia

El cálculo de las magnitudes de eventos extremos requiere que la función de distribución de probabilidad sea invertible, es decir, dado un valor para T_r , puede determinarse PP_{max} . Un evento hidrológico extremo como precipitación máxima puede representarse en función a la media, factor de frecuencia y la desviación estándar, Las funciones de distribuciones a usarse son las siguientes.

3.3.1.1. Distribución Normal

$$PP_{max} = \bar{x} + KS$$

Donde:

PP_{max} : Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, en (mm).

\bar{x} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de X.

S: Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de X.

K: Factor de frecuencia.

a. Factor de frecuencia

$$K = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$

Donde:

K: Factor de frecuencia.

W: Variable normal estándar

Los variables que definen factor de frecuencia. son los siguientes:

Variable normal estándar (w)

$$W = \left[\ln\left(\frac{1}{P^2}\right) \right]^{1/2}$$

Donde:

w: Variable normal estándar

P: Probabilidad de ocurrencia

Probabilidad de ocurrencia (P)

$$P = \frac{1}{T_r}$$

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia

Tr: Periodo de retorno, (años)

3.3.1.2. Distribución LogNormal

$$PP_{max} = 10^{(\bar{y} + K S_y)}$$

Donde:

PP_{max}: Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, en (mm).

\bar{y} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de Y.

S_y: Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de Y.

K: Factor de frecuencia.

El factor frecuencia (K) es igual al de la distribución Normal

3.3.1.3. Distribución De Gumbel o Valor Extremo.

$$PP_{max} = \bar{x} + K S$$

Donde:

PP_{max}: Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, en (mm)

\bar{x} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de X.

S: Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de X.

K: Factor de frecuencia.

a. Factor de frecuencia.

$$K = \frac{\sqrt{6}}{\pi} (0.5772 + W)$$

Los variables que definen factor de frecuencia son los siguientes:

Variable normal estándar (w)

$$W = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right]$$

Donde:

W: Variable normal estándar

P: Probabilidad de ocurrencia

Probabilidad de ocurrencia (P)

$$P = \frac{1}{T_r}$$

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia

T_r : Periodo de retorno, en (años)

3.3.1.4. Distribución De LogGumbel.

$$PP_{\max} = 10^{(\bar{y} + KS_y)}$$

Donde:

PP_{\max} : Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, en (mm).

\bar{y} : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de Y.

S_y : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de Y.

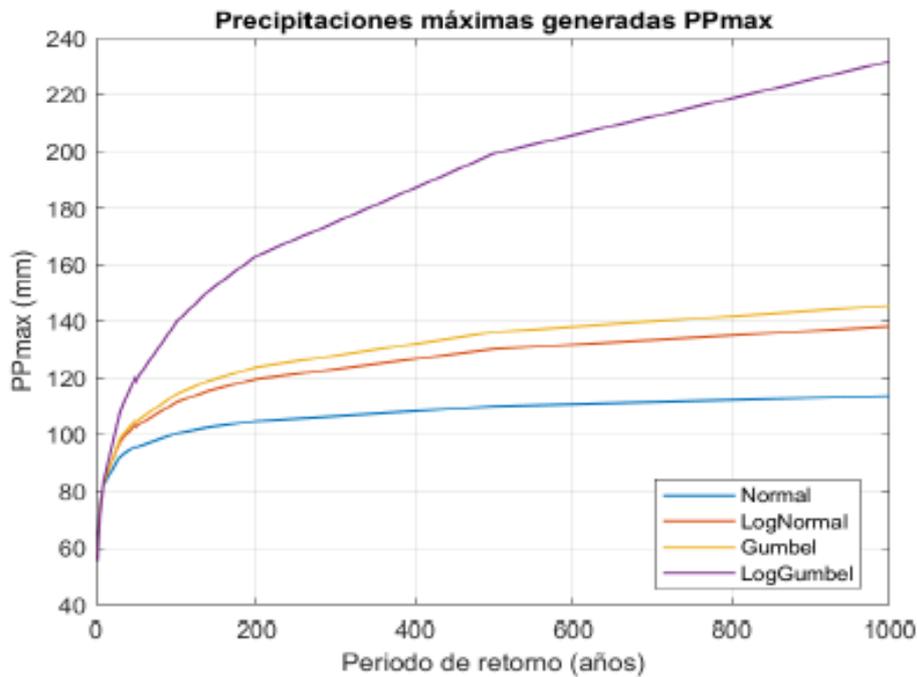
K: Factor de frecuencia.

El factor frecuencia (K) es igual al de la distribución Gumbel

El periodo de retorno (T_r), la probabilidad de ocurrencia (P) y Las precipitaciones máximas generadas (PP_{\max}) con las distribuciones (Normal, LogNormal, Gumbel y LogGumbel) se muestran en la **Tabla: 3.3**

Tabla 3.3: precipitaciones máximas de 24 horas generadas para diferentes periodos de retorno

Tr (años)	Prob	Normal Ppmax (mm)	LogNormal PPmax (mm)	Gumbel PPmax (mm)	LogGumbel PPmax (mm)
2	0.5	60.493	58.227	57.659	55.61
5	0.2	75.009	73.696	72.904	71.221
10	0.1	82.604	83.363	82.998	83.898
30	0.033	92.137	97.312	98.25	107.462
35	0.029	93.315	99.191	100.356	111.199
50	0.02	95.93	103.491	105.213	120.318
100	0.01	100.632	111.699	114.604	140.128
140	0.007	102.765	115.633	119.149	150.856
200	0.005	104.936	119.779	123.961	163.11
500	0.002	110.15	130.357	136.306	199.293
1000	0.001	113.808	138.329	145.636	231.875



3.3.2. Precipitaciones máximas de 24 horas seleccionada

La precipitación máxima de 24 horas seleccionada. Es la generada con la distribución más representativa o la que más se ajusta según los resultados Pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1,13. Para el caso de nuestra estación, según fuentes del SENAMHI indican que la medición de la precipitación máxima se realiza al finalizar el día, lo cual es considerado como una medición al día.

El periodo de retorno, la precipitación generada con la distribución seleccionada y corregida se muestra en la siguiente **Tabla: 3.4**

Precipitaciones máximas de 24 horas seleccionada es con la distribución =Normal

Tabla 3.4: Precipitaciones máximas de 24 horas seleccionada y corregida

Tr (años)	Selec - PPmax (mm)	Correc - PPmax (mm)
2	60.493	68.357
5	75.009	84.76
10	82.604	93.343
30	92.137	104.115
35	93.315	105.446
50	95.93	108.401
100	100.632	113.715
140	102.765	116.125
200	104.936	118.577
500	110.15	124.47
1000	113.808	128.603

3.4. Determinación de la tormenta de diseño

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de este se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía a y tránsito de caudales.

3.4.1. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$I = \frac{Pd}{d}$$

Donde

I: Intensidad máxima, en (mm/h)

Pd: Precipitación o lámina de agua, en (mm)

D: Tiempo, en horas (h)

Además, Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se calculan relacionando simultáneamente las tres variables mencionadas mediante la siguiente ecuación general.

$$I = \frac{k T_r^a}{d^b}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h).

k, a, b: Factores característicos de la zona de estudio.

Tr: Periodo de retorno en años.

D: Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min).

Para determinar los parámetros K, a, b se aplicará una correlación lineal múltiple. para este fin se adecua la ecuación.

$$\log I = \log k + m \log Tr - n \log d$$

Donde:

$$Y = \log I, A = \log k, B = m, X1 = \log Tr, X2 = \log d, C = -n$$

Ecuación de la recta $Y = A + BX1 + CX2$

Para determinar los parámetros **A**, **B**, **C** se deben resolver el sistema de ecuaciones de mínimos cuadrados.

$$\begin{aligned}\sum Y &= A * n + B \sum X_1 + C \sum X_2 \\ \sum X_1 Y &= A \sum X_1 + B \sum X_1^2 + C \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 Y &= A \sum X_2 + B \sum X_1 X_2 + C \sum X_2^2\end{aligned}$$

Los factores característicos de la zona de estudio se definen como: **k=10^A**, **a=B**, **b= -C**

Coefficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. Es también denominado R cuadrado y sirve para reflejar la bondad del ajuste de un modelo a la variable que se pretende explicar. Donde Toma valores de $0 \leq R^2 \leq 1$, si su valor es cercano o igual a 1 significa un ajuste perfecto, El valor es cercano a cero indica la no representatividad del modelo.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})}$$

3.4.1.1. Curvas (I-D-F) menores a una hora (Dick Peschke)

Para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviógrafos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas, como se muestra en las siguientes ecuaciones.

Precipitación total (P_d)

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

d: duración, en (min)

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas, en (mm).

Intensidades máximas menores a una hora (I)

$$I = \frac{P_d}{d}$$

Donde:

P_d : Precipitación o lámina de agua, en (mm)

D: Tiempo, en (h)

Ecuación general de intensidades máximas menores a una hora

$$I = \frac{kT_r^a}{d^b}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h).

k, a, b: Factores característicos de la zona de estudio.

T_r : Periodo de retorno en años.

D: Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min).

Las Intensidades máximas menores a una hora para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno se muestran en la **Tabla: 3.5:**

Tabla 3.5: Curvas (I-D-F) menores a una hora (Dick Peschke)

d (min)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200años)	Tr (500años)	Tr (1000años)
10	133.474	145.397	155.119	171.877	174.369	180.274	192.328	198.467	205.188	223.517	238.463
15	98.475	107.272	114.445	126.809	128.647	133.004	141.897	146.426	151.385	164.908	175.935
20	79.364	86.453	92.234	102.199	103.68	107.192	114.359	118.009	122.006	132.904	141.791
25	67.134	73.131	78.021	86.449	87.703	90.673	96.736	99.824	103.204	112.423	119.941
30	58.554	63.784	68.049	75.401	76.494	79.085	84.373	87.066	90.014	98.055	104.612
35	52.161	56.82	60.62	67.169	68.142	70.45	75.161	77.56	80.187	87.349	93.19
40	47.19	51.406	54.843	60.768	61.649	63.736	67.998	70.169	72.545	79.025	84.309
45	43.2	47.059	50.206	55.63	56.436	58.348	62.249	64.236	66.411	72.344	77.181
50	39.918	43.484	46.391	51.403	52.148	53.915	57.52	59.355	61.366	66.847	71.317
55	37.164	40.484	43.191	47.857	48.551	50.195	53.551	55.261	57.132	62.236	66.397
59	35.258	38.407	40.976	45.402	46.061	47.621	50.805	52.426	54.202	59.044	62.991

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

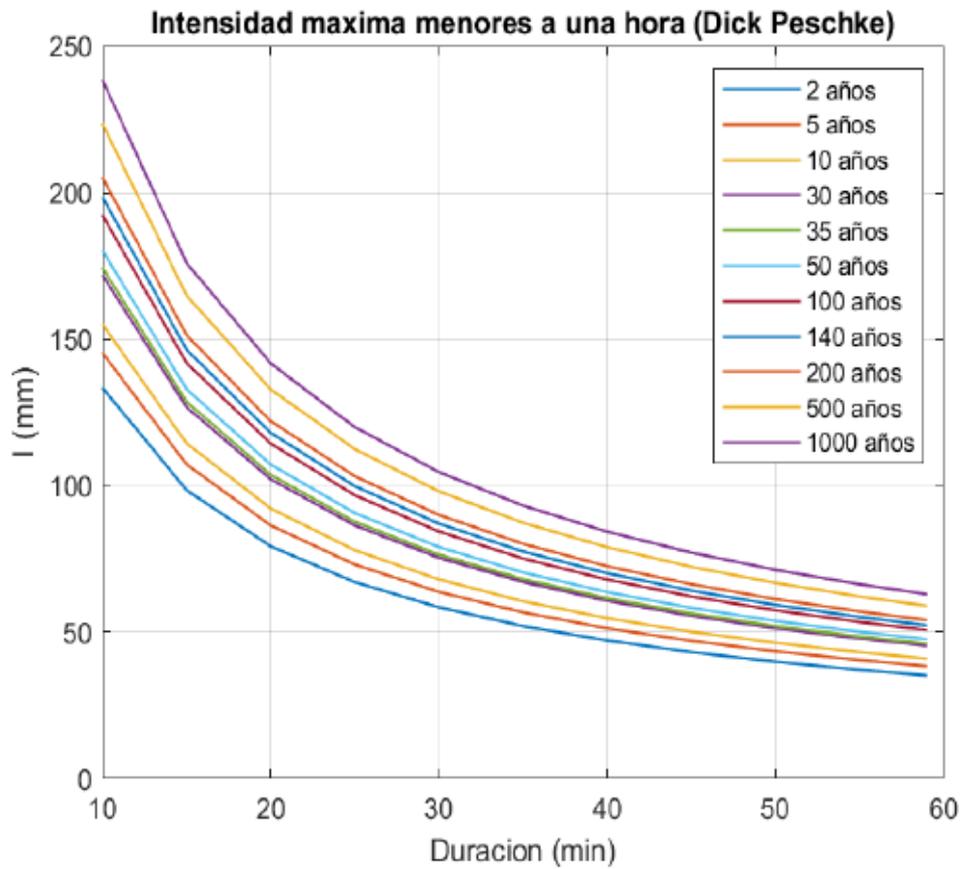
$k = 703.5363$

$a = 0.093378$

$b = 0.75$

Coefficiente de determinación (R^2)

$R^2 = 0.98662$



3.4.1.2. Curvas (I-D-F) máximas mayores a una hora (coeficiente de duración)

En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración como se muestra en la **Tabla: 4.6:**

Tabla: 3.6: Coeficiente de duración

Duración (h)	Coefficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.5
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.9
20	0.93
22	0.97
24	1
48	1.32

Precipitación total (P_d)

$$P_d = C_d P_{24h}$$

Donde:

C_d : Coeficiente de duración

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas, en (mm).

Intensidades máximas mayores a una hora (I)

$$I = \frac{Pd}{d}$$

Donde:

I: Intensidad máxima, en (mm/h)

Pd: Precipitación o lámina de agua, en (mm)

Ecuación general de intensidades máximas mayores a una hora

$$I = \frac{k T_r^a}{d^b}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h).

k, a, b: Factores característicos de la zona de estudio.

Tr: Periodo de retorno en años.

d: Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min).

Las Intensidades máximas mayores a una hora para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno se muestran en la **Tabla: 3.7:**

}

Tabla 3.7: Curvas (I-D-F) mayores a una hora (Coeficiente de duración)

d (h)	Tr (2años)	Tr (5años)	Tr (10años)	Tr (30años)	Tr (35años)	Tr (50años)	Tr (100años)	Tr (140años)	Tr (200años)	Tr (500años)	Tr (1000años)
1	18.6	20.3	21.7	24	24.4	25.2	26.9	27.7	28.7	31.2	33.3
2	12.8	13.9	14.8	16.4	16.7	17.2	18.4	19	19.6	21.4	22.8
3	10.2	11.1	11.9	13.2	13.4	13.8	14.7	15.2	15.7	17.1	18.3
4	8.75	9.53	10.2	11.3	11.4	11.8	12.6	13	13.4	14.6	15.6
5	7.74	8.43	9	9.97	10.1	10.5	11.2	11.5	11.9	13	13.8
6	7.01	7.63	8.14	9.02	9.16	9.47	10.1	10.4	10.8	11.7	12.5
8	5.99	6.52	6.96	7.71	7.82	8.09	8.63	8.91	9.21	10	10.7
10	5.3	5.78	6.16	6.83	6.93	7.16	7.64	7.88	8.15	8.88	9.47
12	4.8	5.23	5.58	6.18	6.27	6.48	6.92	7.14	7.38	8.04	8.57
14	4.41	4.81	5.13	5.68	5.76	5.96	6.36	6.56	6.78	7.39	7.88
16	4.1	4.47	4.77	5.28	5.36	5.54	5.91	6.1	6.31	6.87	7.33
18	3.85	4.19	4.47	4.95	5.02	5.19	5.54	5.72	5.91	6.44	6.87
20	3.63	3.96	4.22	4.68	4.74	4.9	5.23	5.4	5.58	6.08	6.49
22	3.45	3.75	4.01	4.44	4.5	4.66	4.97	5.13	5.3	5.77	6.16
24	3.29	3.58	3.82	4.23	4.29	4.44	4.74	4.89	5.05	5.5	5.87
48	2.25	2.45	2.62	2.9	2.94	3.04	3.24	3.35	3.46	3.77	4.02

Parámetros de la ecuación general de intensidades máximas

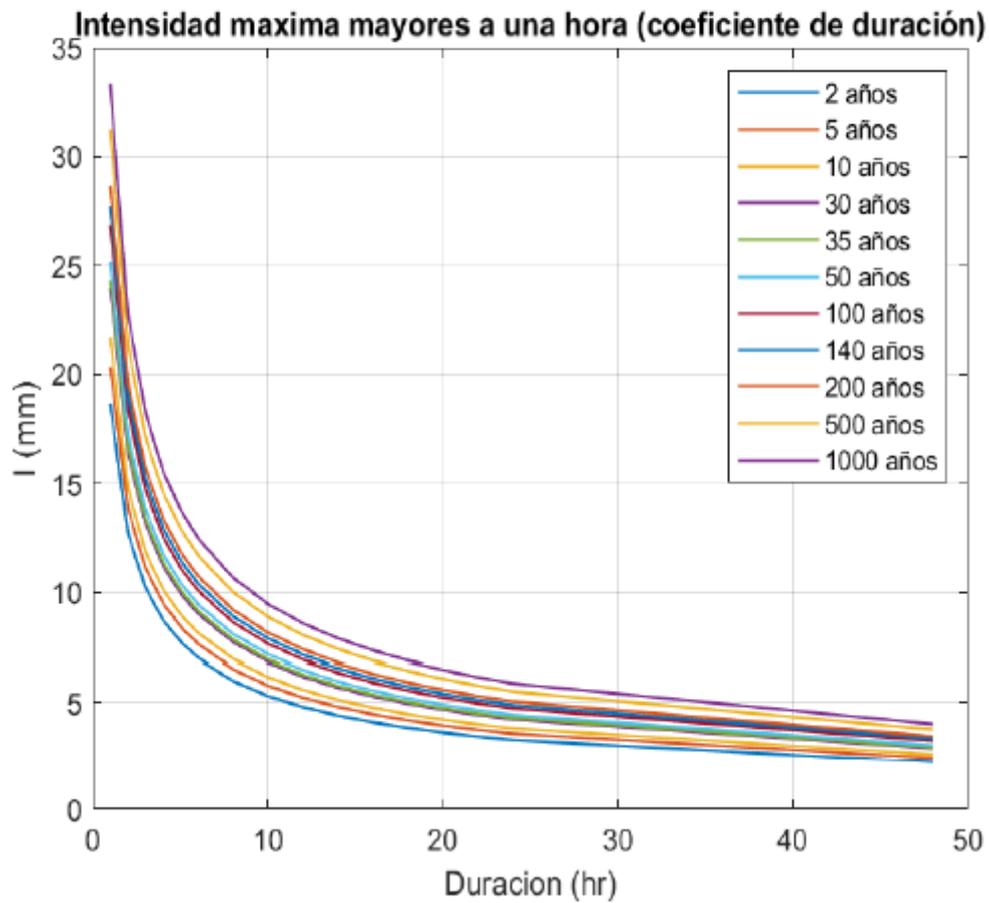
$k = 163.6295$

$a = 0.093378$

$b = 0.54625$

Coefficiente de determinación (R^2)

$R^2 = 0.98753$



4. CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS

Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q . cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el Flujo se convierte en Flujo superficie.

4.1. Método Racional

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, $A < 10 \text{ Km}^2$. Considerar que la duración de P es igual a T_C . La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$Q_r = 0.278CIA$$

Donde:

Q_r : Descarga máxima de diseño, en (m^3/s).

C : Coeficiente de escorrentía

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h).

A : Área de la cuenca, en (km^2)

La intensidad de precipitación máxima se calcula con la ecuación general, que puede ser mayores o menores a una hora, según el resultado de tiempo de concentración de la cuenca o microcuenca.

La norma OS.060 menciona que el tiempo de concentración en ningún caso debe ser inferior a 10 minutos. En caso de existir se asumirá el valor de 10 minutos, y se calculará con el método Kirpich según recomendación de bibliografías.

Este método será usado para microcuencas con áreas menores a 10 km^2

Cuenca, Progresiva (Prog), área (A), tiempo de concentración (T_C), tiempo de retorno (T_r), intensidad (I), coeficiente de escorrentía (C) y los Caudales máximos con el método racional (Q_r) se muestra en la **Tabla: 4.1**

Tabla 4.1: Caudales máximos método racional

Cuenca	Prog	A (km)	Tc (min)	Tr (años)	I (mm)	C	Qr (m³/s)
P-01	0+220	1.53	13.847	140	155.478	0.4	26.452
A-01	0+340	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-02	0+405	0.131	10	71	186.275	0.4	2.713
A-03	0+460	0.049	10	71	186.275	0.4	1.015
A-04	1+240	0.125	10	71	186.275	0.4	2.589
A-05	1+340	0.014	10	71	186.275	0.4	0.29
A-06	1+490	0.044	10	71	186.275	0.4	0.911
A-07	1+600	0.068	10	71	186.275	0.4	1.409
A-08	1+690	0.158	10	71	186.275	0.4	3.273

4.2. Método Racional Modificado

Es el método racional modificado según la formulación propuesta por Temez permite estimar de forma sencilla. caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (T_C) de entre 0.25 y 24 horas.

$$Q_t = 0.278CIAK$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño, en (m³/s).

C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h).

A: Área de la cuenca, en (km²)

K: Coeficiente de Uniformidad

Los factores de la fórmula general, son los siguientes:

4.2.1. Coeficiente de Uniformidad (K)

$$K = 1 + \frac{T_C^{1.25}}{T_C^{1.25} + 14}$$

Donde:

K: Coeficiente de Uniformidad

Tc: Tiempo de concentración método Temez según bibliografía, en (h)

4.2.2. Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (K_A)

$$K_A = 1 - (\log_{10} A / 15)$$

4.2.3. Precipitación máxima 24h (P_{24h})

$$P_{24h} = \left(\frac{k Tr^a}{d^b} \right) 24$$

Donde:

P_{24h} : Precipitación máxima 24h, en (h)

Tr: Periodo de retorno, en (años).

D: Duración, en (min).

k, a, b: Factores característicos de la zona de estudio.

4.2.4. Precipitación máxima corregida (P)

$$P = K_A * P_{24h}$$

Donde:

P: Precipitación máxima corregida, en (mm).

KA: Factor reductor.

P24h: Precipitación máxima 24h, en (h)

4.2.5. Intensidad de Precipitación (I)

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Donde:

I: Intensidad de Precipitación, en (mm/h)

P: Precipitación máxima corregida, en (mm).

T_c : Tiempo de concentración, en (h)

4.2.6. Umbral de escorrentía (P₀)

$$P_0 = \left(\frac{5000}{CN}\right) - 50$$

Donde:

P₀: Umbral de escorrentía

CN: Numero de curva

4.2.7. Coeficiente de Escorrentía (C).

$$C = \frac{(P - P_0) * (P + 23 * P_0)}{(P + 11 * P_0)^2}$$

Donde:

C: Coeficiente de Escorrentía

P: Precipitación máxima corregida, en (mm).

P₀: Umbral de escorrentía

Cuenca, Progresiva (Prog), área (A), tiempo de concentración (T_c), periodo de retorno (Tr), Coeficiente de Uniformidad (K), Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (KA), Precipitación máxima 24h (P24h), Precipitación máxima corregida (P), Intensidad de Precipitación (I), Umbral de escorrentía (P₀), Coeficiente de Escorrentía (C) y los Caudales máximos con el método racional modificado (Qt) se muestra en la **Tabla: 4.2**

Tabla 4.2: Caudales máximos método racional Modificado o Temez

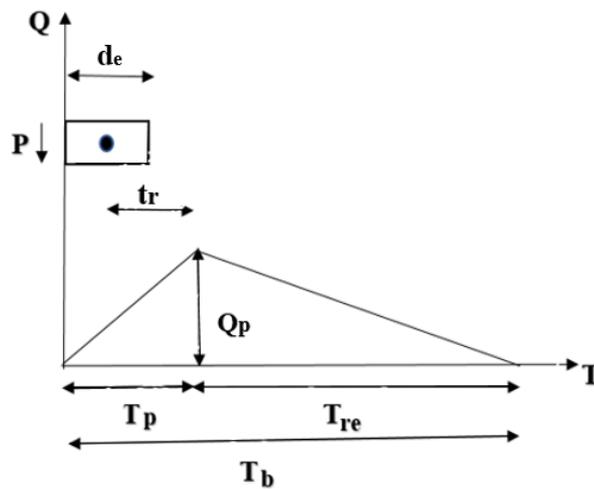
Cuenca	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	K	Ka	P24h (mm)	P (mm)	I (mm)	Po	C1	Qt (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.793	140	77	1.051	0.988	114.585	113.174	59.592	14.935	0.583	15.509
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	143.652	14.935	0.591	0
A-02	0+405	0.131	0.26	71	77	1.013	1.059	107.546	113.875	112.011	14.935	0.585	2.415
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	1.008	1.087	107.546	116.937	144.917	14.935	0.594	0
A-04	1+240	0.125	0.173	71	77	1.008	1.06	107.546	114.021	138.699	14.935	0.585	0
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	1.008	1.124	107.546	120.837	149.751	14.935	0.605	0
A-06	1+490	0.044	0.175	71	77	1.008	1.09	107.546	117.272	141.569	14.935	0.595	0
A-07	1+600	0.068	0.174	71	77	1.008	1.078	107.546	115.916	140.466	14.935	0.591	0
A-08	1+690	0.158	0.25	71	77	1.012	1.053	107.546	113.291	113.746	14.935	0.583	2.947

4.3 Hidrograma Unitario

El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica; siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa que se producirá en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta unidad de una duración determinada.

4.3.1 Hidrograma unitario triangular de SCS

El HUT es una esquematización muy simple para la respuesta de una cuenca a una tormenta aislada, Proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma, como son: caudal pico (Q_p); tiempo base (T_b) y tiempo el pico (T_p), como se muestra en la siguiente figura:



Donde:

Q: Caudal, en (m^3/s).

T: Tiempo, en (h)

$Q_{hut}=Q_p$: Caudal máxima o pico, en (m^3/s).

d: Duración, en (h)

T_p : Tiempo pico, en (h)

T_{re} : Tiempo de recesión, en (h)

T_r : Tiempo de retraso, en (h)

T_b : Tiempo base, en (h)

Este método es recomendable tan solo para cuencas de hasta a 30 Km^2 , y está determinada con la siguiente ecuación.

$$Q_{hut} = \frac{0.208 P_e A}{T_p}$$

Donde:

Qh_{ut}: Caudal máxima o pico, en (m³/s).

Pe: Precipitación efectiva, en (mm).

A: Área de la cuenca, en (km²)

T_p: Tiempo pico, en (h)

Los factores de la fórmula general, son los siguientes:

4.3.1.1. Precipitación máxima 24h (P24h)

$$P24h = \left(\frac{k Tr^a}{d^b} \right) 24$$

Donde:

P24h: Precipitación máxima 24h, en (h)

Tr: Periodo de retorno, en (años).

D: Duración, en (min).

K, a, b: Factores característicos de la zona de estudio.

4.3.1.2. Precipitación efectiva (Pe)

$$Pe = \frac{[CN(P24h + 50.8) - 5080]^2}{CN[CN(P24h - 203.2) + 20320]}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva, en (mm).

P24h: Precipitación máxima de 24 horas, en (mm).

CN: Numero de curva.

4.3.1.3. Duración en exceso (de)

$$de = 2\sqrt{Tc}$$

Donde:

De: Duración en exceso, en (h).

Tc: Tiempo de concentración método Kirpich según bibliografía (h).

4.3.1.4. Tiempo de retraso (tr)

$$tr = 0.6Tc$$

Donde:

Tr: Tiempo de retraso, en (h).

Tc: Tiempo de concentración método Kirpich según bibliografía (h).

4.3.1.5. Tiempo pico (Tp)

$$Tp = \sqrt{Tc} + 0.6Tc$$

Donde:

Tp: Tiempo pico, en (h).

Tc: Tiempo de concentración método Kirpich según bibliografía (h).

4.3.1.6. Tiempo de recisión (Tre)

$$T_{re} = 1.67T_p$$

Donde:

Tre: Tiempo de recisión, en (h).

Tp: Tiempo pico, en (h).

4.3.1.7. Tiempo base (Tb)

$$T_b = 2.67T_p$$

Donde:

Tb: Tiempo base, en (h).

Tp: Tiempo pico, en (h).

Cuenca, Progresiva (Prog), área (A), tiempo de concentración (T_C), periodo de retorno (T_r), numero de curva (CN), Precipitación máxima 24h (P_{24h}), precipitación efectiva (Pe), duración en exceso (de), Tiempo de retraso (t_r), Tiempo pico (T_p), Tiempo de recisión (T_{re}), Tiempo base (T_b), y los Caudales máximos con el método HUT (Qh) se muestra en la **Tabla: 4.3**

Tabla 3.11: Caudales máximos método hidrograma unitario triangular del SCS

Nro	Prog	A (km ²)	Tc (h)	Tr (años)	CN	P24h (mm)	Pe (mm)	de(h)	tr(h)	Tp(h)	Tre(h)	Tb(h)	Qhut (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	0.231	140	77	114.585	56.381	0.961	0.138	0.619	1.034	1.652	28.993
A-01	0+340	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-02	0+405	0.131	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.719
A-03	0+460	0.049	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.017
A-04	1+240	0.125	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	2.594
A-05	1+340	0.014	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.291
A-06	1+490	0.044	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	0.913
A-07	1+600	0.068	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	1.411
A-08	1+690	0.158	0.167	71	77	107.546	50.716	0.816	0.1	0.508	0.849	1.357	3.279

4.4. Resumen de caudales máximos

Los caudales máximos se determinaron para cada uno de las microcuencas del sistema de drenaje transversal de carreteras, a partir de los datos de características físicas de las microcuencas, coeficiente de escurrimiento (C), número de curva (NC), período de retorno (T_r) según tipo de estructura propuesta y datos de precipitaciones máximas de 24 horas. Se desarrolló con tres métodos, el método racional, método racional modificado o Temez e hidrograma unitario triangular de SCS. Cada uno de estos métodos tiene ciertas restricciones según Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, del Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, como:

Método Racional. Se usa para áreas menores de 10 km^2 .

Método racional modificado. Se usa para áreas menores a 770 km^2 y tiempos de concentración de entre 0.25 y 24 horas.

Método de hidrograma unitario triangular. - Se usa para áreas menores de 30 km^2 .

Para valores fuera de estas restricciones de cada método el resultado se considerará con el valor cero. Para tener mayor confiabilidad para proceder con los cálculos hidráulicos de cada uno de las estructuras propuestas en el sistema de drenaje transversal de carreteras.

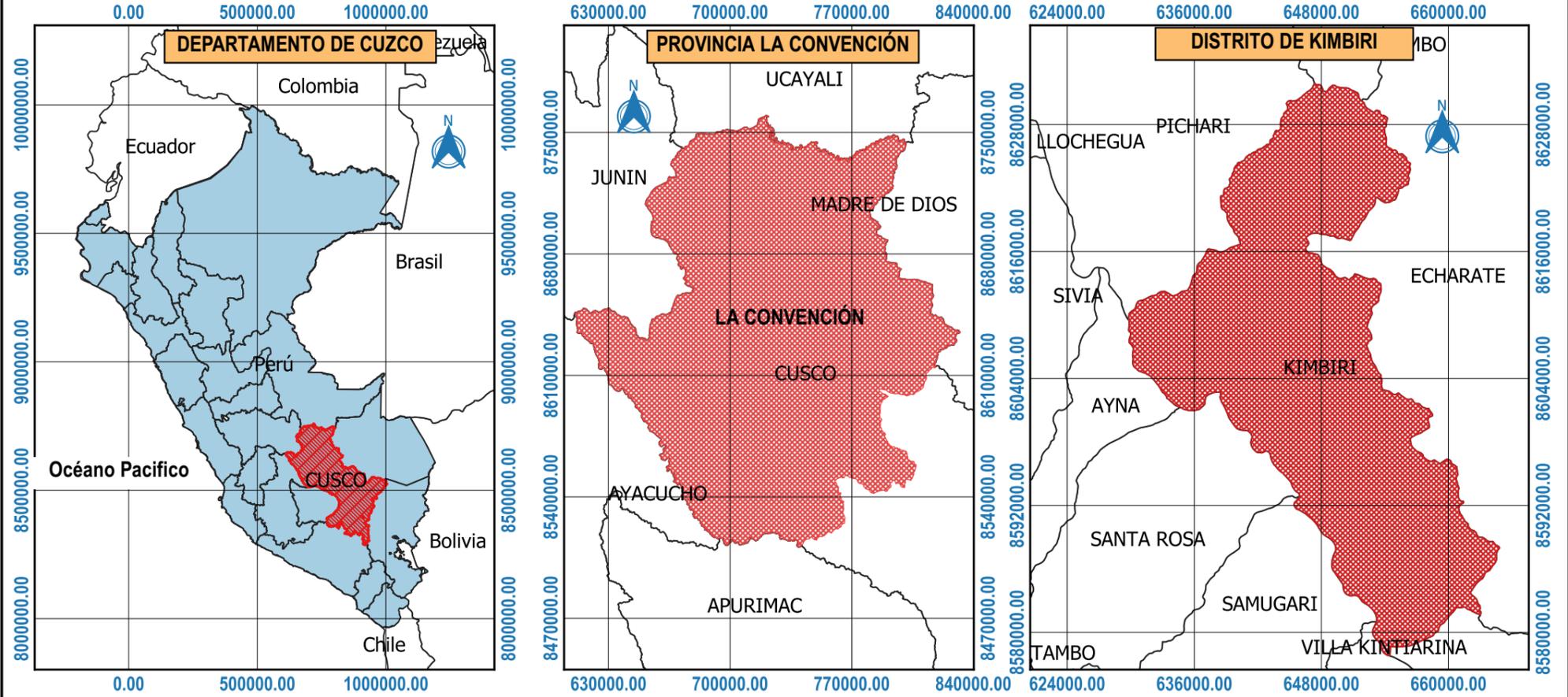
Cuenca, Progresiva (Prog), área (A), Período de retorno (T_r), y los caudales máximos con el método racional (Q_r), racional modificado (Q_t), e hidrograma unitario triangular (Q_{hut}) se muestra en la **Tabla: 4.4**

Tabla: 4.4: resumen de caudales máximos

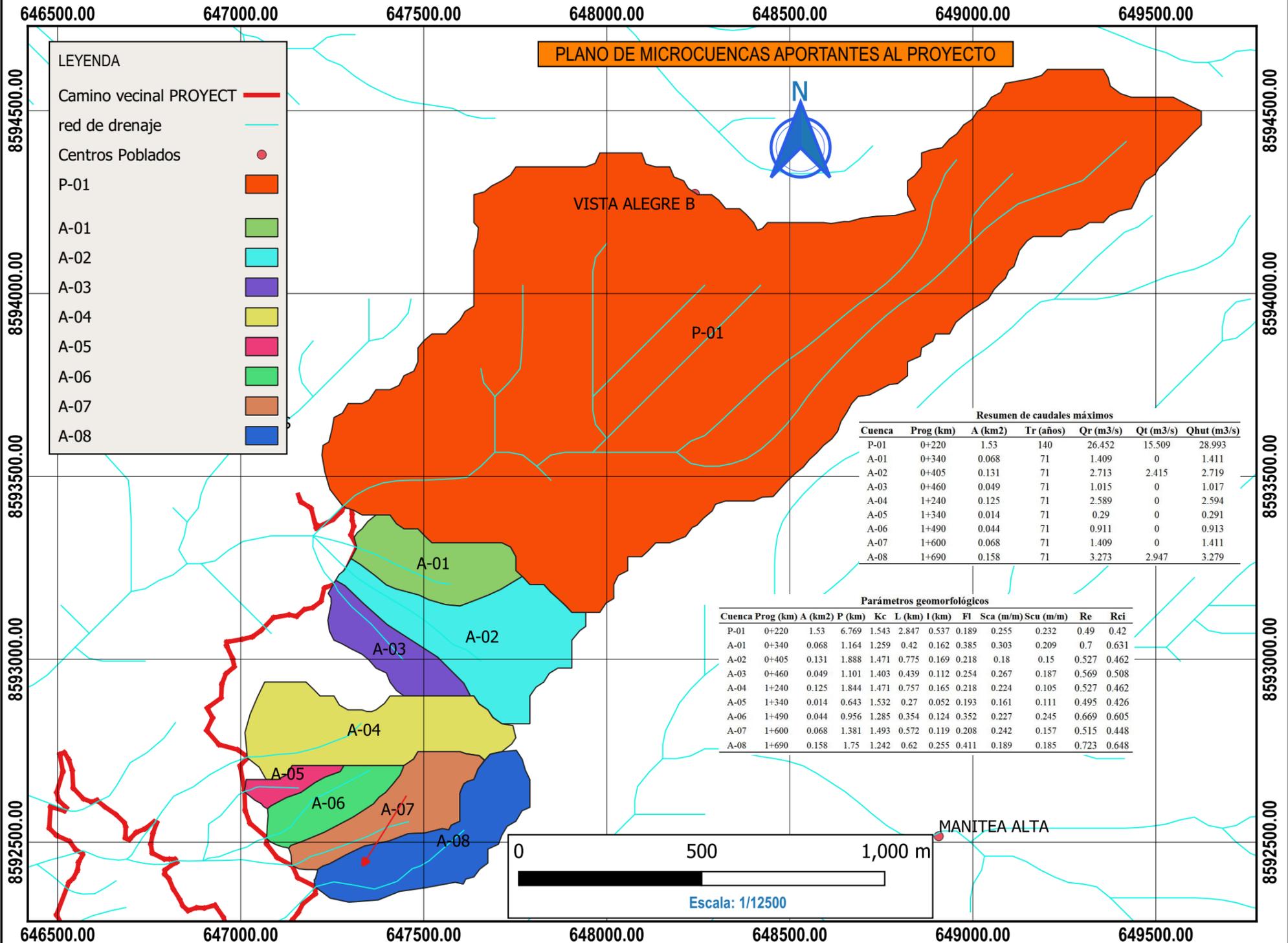
Cuenca	Prog	A (km ²)	P (km)	Q _r (m ³ /s)	Q _t (m ³ /s)	Q _h (m ³ /s)
P-01	0+220	1.53	6.769	26.452	15.5	28.993
A-01	0+340	0.068	1.164	1.409	0	1.411
A-02	0+405	0.131	1.888	2.713	2.42	2.719
A-03	0+460	0.049	1.101	1.015	0	1.017
A-04	1+240	0.125	1.844	2.589	0	2.594
A-05	1+340	0.014	0.643	0.29	0	0.291
A-06	1+490	0.044	0.956	0.911	0	0.913
A-07	1+600	0.068	1.381	1.409	0	1.411
A-08	1+690	0.158	1.75	3.273	2.95	3.279

Plano

PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



PLANO DE MICROCUENCAS APORTANTES AL PROYECTO



Resumen de caudales máximos

Cuenca	Prog (km)	A (km2)	Tr (años)	Qr (m3/s)	Qt (m3/s)	Qhut (m3/s)
P-01	0+220	1.53	140	26.452	15.509	28.993
A-01	0+340	0.068	71	1.409	0	1.411
A-02	0+405	0.131	71	2.713	2.415	2.719
A-03	0+460	0.049	71	1.015	0	1.017
A-04	1+240	0.125	71	2.589	0	2.594
A-05	1+340	0.014	71	0.29	0	0.291
A-06	1+490	0.044	71	0.911	0	0.913
A-07	1+600	0.068	71	1.409	0	1.411
A-08	1+690	0.158	71	3.273	2.947	3.279

Parámetros geomorfológicos

Cuenca	Prog (km)	A (km2)	P (km)	Kc	L (km)	I (km)	Fl	Sca (m/m)	Scu (m/m)	Re	Rci
P-01	0+220	1.53	6.769	1.543	2.847	0.537	0.189	0.255	0.232	0.49	0.42
A-01	0+340	0.068	1.164	1.259	0.42	0.162	0.385	0.303	0.209	0.7	0.631
A-02	0+405	0.131	1.888	1.471	0.775	0.169	0.218	0.18	0.15	0.527	0.462
A-03	0+460	0.049	1.101	1.403	0.439	0.112	0.254	0.267	0.187	0.569	0.508
A-04	1+240	0.125	1.844	1.471	0.757	0.165	0.218	0.224	0.105	0.527	0.462
A-05	1+340	0.014	0.643	1.532	0.27	0.052	0.193	0.161	0.111	0.495	0.426
A-06	1+490	0.044	0.956	1.285	0.354	0.124	0.352	0.227	0.245	0.669	0.605
A-07	1+600	0.068	1.381	1.493	0.572	0.119	0.208	0.242	0.157	0.515	0.448
A-08	1+690	0.158	1.75	1.242	0.62	0.255	0.411	0.189	0.185	0.723	0.648

Características físicas de microcuencas, coeficiente de escurrimiento (C), número de curva (NC), periodo de retorno (Tr)

Cuenca	Prog (km)	A (km2)	P (km)	Lca (km)	Cmca (msnm)	Cmccu (msnm)	Cs (msnm)	C	CN	Tr (años)
P-01	0+220	1.53	6.769	2.556	1572	1579	919	0.4	77	140
A-01	0+340	0.068	1.164	0.277	1011	1015	927	0.4	77	71
A-02	0+405	0.131	1.888	0.54	1020	1039	923	0.4	77	71
A-03	0+460	0.049	1.101	0.285	1001.25	1007.25	925.21	0.4	77	71
A-04	1+240	0.125	1.844	0.333	984	989	909.52	0.4	77	71
A-05	1+340	0.014	0.643	0.149	921	927	897	0.4	77	71
A-06	1+490	0.044	0.956	0.341	964	973	886.5	0.4	77	71
A-07	1+600	0.068	1.381	0.343	969	976	886	0.4	77	71
A-08	1+690	0.158	1.75	0.52	992	1008	893.5	0.4	77	71



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

PROYECTO: "Mejoramiento y ampliación de camino vecinal entre las comunidades de Manitea Baja-Unión Rosales del distrito de Kimbiri, la Convencion, Cusco"

UBICACION: (Ejemplo de Aplicación) DEPARTAMENTO: CUZCO PROVINCIA : LA CONVENCION DISTRITO : KIMBIRI LUGAR : M.BAJA, U.ROSALES	WGS-1984 ZONA :18S CUADR.:28n	PLANO: Drenaje transversal en carreteras	LAMINA: DTC-01
	ESCALA INDICADA	FECHA Setiembre	DISEÑO: DIBUJO:

Bach. N.E.B.C.
Bach. N.E.B.C.



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, deja constancia que el trabajo de tesis titulado;

Formulación de un programa en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras - 2020

Autor : Neil Ever Barzola Cisneros

Asesor : Ph. D. Sandra del Águila Ríos

Ha sido sometido al análisis del sistema antiplagio TURNITIN concluyendo que presenta un porcentaje de 26 % de similitud.

Por lo que, de acuerdo al porcentaje establecido en el Artículo 13 del Reglamento de originalidad de trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es procedente otorgar la Constancia de Originalidad.

Ayacucho, 10 de noviembre de 2022

Ing. WALTER AUGUSTO MATEU MATEO
Presidente de comisión

Formulación de un programa en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras - 2020

por Neil Ever Barzola Cisneros

Fecha de entrega: 10-nov-2022 04:59p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1950552461

Nombre del archivo: TESIS_NEIL_BARZOLA.pdf (4.81M)

Total de palabras: 69179

Total de caracteres: 312238

Formulación de un programa en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras - 2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	civilmbh.files.wordpress.com Fuente de Internet	1%
6	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%

9	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	edoc.site Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to udep Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
16	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	transparencia.mtc.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to colpos Trabajo del estudiante	<1 %
19	www.icm.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
20	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

21	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	<1 %
22	repositorio.uca.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
23	www.civilmac.com Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	docslide.us Fuente de Internet	<1 %
27	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
28	Submitted to tec Trabajo del estudiante	<1 %
29	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	geama.org Fuente de Internet	<1 %
32	hidraulica.umich.mx Fuente de Internet	<1 %

<1 %

33

tubibliotecavirtualnicolatesla.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

34

J. SANDAHL CHRISTIANSEN. "Kidney function and size in normal subjects before and during growth hormone administration for one week", European Journal of Clinical Investigation, 12/1981

Publicación

<1 %

35

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

36

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

37

cef.uca.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

38

repositorioslatinoamericanos.uchile.cl

Fuente de Internet

<1 %

39

upc.aws.openrepository.com

Fuente de Internet

<1 %

40

documents.mx

Fuente de Internet

<1 %

41

repositorio.senamhi.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

repositorio.urp.edu.pe

42

Fuente de Internet

<1 %

43

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

44

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

45

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

46

Davis, Harold S., and Reuben Schuler. "THE RELATIVE RATES OF ABSORPTION OF THE GASEOUS OLEFINS INTO SULFURIC ACID AT 25°1", Journal of the American Chemical Society, 1930.

Publicación

<1 %

47

castelblancoluz.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

48

colposdigital.colpos.mx:8080

Fuente de Internet

<1 %

49

Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

<1 %

50

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

51

www.corpocesar.gov.co

Fuente de Internet

<1 %

52	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
53	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
54	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	www.uaaan.mx Fuente de Internet	<1 %
57	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
58	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
59	Submitted to University Of Tasmania Trabajo del estudiante	<1 %
60	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
61	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
62	www.ana.gob.pe:8091 Fuente de Internet	<1 %
63	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1 %

64 [slidemy.com](https://www.slidemy.com) <1 %
Fuente de Internet

65 Submitted to Universidad Nacional de Trujillo <1 %
Trabajo del estudiante

66 www.coursehero.com <1 %
Fuente de Internet

67 Submitted to unsaac <1 %
Trabajo del estudiante

68 issuu.com <1 %
Fuente de Internet

69 edoc.pub <1 %
Fuente de Internet

70 repositorio.unp.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

71 studylib.es <1 %
Fuente de Internet

72 superiorprospects.com <1 %
Fuente de Internet

73 repositorio.unheval.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

74 kupdf.net <1 %
Fuente de Internet

75 pirhua.udep.edu.pe

<1 %

76

María Dolores Navarro Mas. "Análisis experimental del fresado de materiales compuestos reforzados con fibra de basalto", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

<1 %

77

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

78

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

79

Beatriz Gina Herencia Félix, Cesar Eduardo Carrera Saavedra. "Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales", Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2019

Publicación

<1 %

80

repositorio.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

81

Submitted to Ana G. Méndez University

Trabajo del estudiante

<1 %

82

economia.gob.mx

Fuente de Internet

<1 %

83

Fuente de Internet

<1 %

84

Submitted to Universidad Nacional de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

85

Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes

Trabajo del estudiante

<1 %

86

prezi.com

Fuente de Internet

<1 %

87

www.asv-stuebbe.de

Fuente de Internet

<1 %

88

www.myharddriverecovery.net

Fuente de Internet

<1 %

89

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

90

dokumen.site

Fuente de Internet

<1 %

91

idoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

92

w3.itchihuahua.edu.mx

Fuente de Internet

<1 %

93

www.efn.uncor.edu

Fuente de Internet

<1 %

94	poseidon.unalmed.edu.co Fuente de Internet	<1 %
95	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
96	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
97	Submitted to Instituto Politecnico Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
98	repositorio.uprit.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
99	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
100	Melisa Andrea Acosta Coll. "Sistema de Alerta temprana para la predicción del nivel de peligrosidad en inundaciones pluviales repentinas", Universitat Politecnica de Valencia, 2018 Publicación	<1 %
101	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

TRANSCRIPCIÓN DE ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL LIBRO N° 02 FOLIO 105 Y 106 DEL EX-ALUMNO NEIL EVER BARZOLA CISNEROS, DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA, PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÍCOLA

En la ciudad de Ayacucho a los diez días del mes de enero del año dos mil veintidós, siendo las seis y diez de la tarde se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del señor Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Dr. Rolando Bautista Gómez, el jurado calificador conformado por los siguientes docentes: Ing. Efraín Chuchón Prado, Ph.D. Sandra Del Águila Ríos como asesora, Ing. Juan Charapaqui Anccasi y el Ing. Richard Alex Oscco Peceros, actuando como secretario docente el Mg. Ennio Chauca Retamozo.

El sustentante **NEIL EVER BARZOLA CISNEROS**, a pedido del señor Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias, procedió a desarrollar el contenido de la Tesis titulada: **Formulación de un programa en MATLAB, aplicado a cálculos hidrológicos de drenaje transversal en carreteras – 2020.**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Terminado la exposición, los señores profesores miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones que consideraron convenientes en el orden que señaló el Decano de la Facultad.

Acto seguido el Decano de la Facultad, informa públicamente al sustentante el resultado final, obteniendo la nota aprobatoria de **diecisiete (17)**, felicitándole e instándole al Profesionalismo que todo egresado de Nuestra Casa de Estudios debe demostrar en el desempeño de sus funciones.

Ayacucho, noviembre 14 de 2022.

Ing. Ennio Chauca Retamozo
Secretario docente