

Métodos Estadísticos e Interpolación Espacial para Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), aplicado al diseño hidráulico

Josue Rodriguez Santos
Pietro Corapi
Silvana Zambrano García
Lilibeth Cedeño Espinoza
Sara Peñafiel Diaz



Métodos estadísticos e interpolación espacial para curvas de Intensidad-duración-frecuencia (IDF), aplicado al diseño hidráulico

Josue Rodríguez Santos
Pietro Corapi
Silvana Zambrano García
Lilibeth Dayana Cedeño Espinoza
Sara Solange Peñafiel Díaz

ISBN: 978-9942-53-148-3

Primera edición, 2026

© **Autor**

Josue Rodríguez Santos

Universidad de Guayaquil

<https://orcid.org/0000-0002-1195-7153>

Pietro Corapi

Università della Calabria

<https://orcid.org/0000-0001-8626-0134>

Silvana Zambrano García

Escuela Superior Politécnica del Litoral

<https://orcid.org/0009-0001-3098-7032>

Lilibeth Dayana Cedeño Espinoza

Universidad de Guayaquil

<https://orcid.org/0009-0006-0187-7949>

Sara Solange Peñafiel Díaz

Universidad de Guayaquil

<https://orcid.org/0009-0004-9349-048X>

© **Editorial Grupo Compás, 2026**

Guayaquil, Ecuador

www.grupocompas.com

<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2026

Esta obra ha sido sometida a un proceso de evaluación bajo el sistema de arbitraje doble ciego (double-blind peer review), garantizando el anonimato tanto de los autores como de los evaluadores externos. El dictamen favorable certifica que el contenido cumple con los más altos estándares de rigor científico, calidad editorial y originalidad exigidos por la comunidad académica internacional para su indexación y reconocimiento científico.

Cita

Rodríguez, J., Corapi, P., Zambrano, S., Peñafiel, S., Cedeño, L., (2026) Métodos estadísticos e interpolación espacial para curvas de Intensidad-duración-frecuencia (IDF), aplicado al diseño hidráulico. Editorial Grupo Compás

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

ISBN: 978-9942-53-148-3

Distribución online

Acceso abierto



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
Generalidades.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Situación Problemática.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivo Específicos.....	3
1.5 Delimitación del Tema.....	3
1.6 Ubicación de Proyecto.....	4
CAPÍTULO II.....	5
Marco Teórico.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Definición de Terminos Básicos.....	6
2.3 Bases Teóricas Científicas.....	9
2.3.1 La Hidrología.....	9
2.3.2 Importancia de la Hidrología.....	10
2.3.3 Distribución del Agua en el Planeta.....	11
2.3.4 Disponibilidad de Agua a Nivel Mundial.....	12
2.3.5 Historia de la Hidrología.....	13
2.3.6 Hidrología en la Ingeniería.....	14
2.3.7 Ciclo Hidrológico del Agua.....	14
2.3.8 Hidrología Superficial.....	16
2.3.8.1 La Meteorología.....	16
2.3.8.2 Precipitaciones.....	16
2.3.8.3 Clasificación de las Precipitaciones.....	18
2.3.8.4 Instrumentos de Medición de las Precipitaciones.....	19
2.3.8.4.1 Pluviómetros.....	19
2.3.8.4.2 Pluviógrafos.....	20
2.3.8.5 Escorrentía.....	20
2.3.9 Meteorología y Climatología.....	21
2.3.9.1 Climatología de las Zonas de Estudio.....	21
2.3.10 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.....	22
2.3.10.1 Estaciones Meteorológicas.....	22
2.3.10.2 Estaciones Meteorológicas del Ecuador.....	23
2.4 Bases Metodológicas Modelos Matemáticos.....	24
2.4.1 Análisis Estadísticos.....	24
2.4.1.1 Valor Central o Dominante de la Serie.....	25

2.4.1.2	Dispersión o Fluctuación de Observaciones Alrededor del Valor Central.....	25
2.4.1.3	Características de Forma.....	25
2.4.2	Estimación Datos Faltantes de Precipitación.....	26
2.4.2.1	Método de Weather Bureau.....	26
2.4.2.2	Método del U.S. National Weather Service.....	27
2.4.2.3	Método de Regresión Lineal.....	28
2.4.3	Datos Atípicos.....	30
2.4.4	Distribuciones de Probabilidad.....	33
2.4.4.1	Distribución Normal.....	34
2.4.4.1.1	Teorema del Límite Central.....	34
2.4.4.2	Distribución Lognormal.....	36
2.4.4.3	Distribución Exponencial.....	36
2.4.4.4	Distribución Gamma.....	36
2.4.4.5	Distribución Pearson Tipo III.....	36
2.4.4.6	Distribución Log Pearson Tipo III.....	36
2.4.4.7	Distribución del Valor Extremo.....	37
2.4.5	Periodo de Retorno.....	38
2.4.6	Pruebas de Bondad de Ajuste.....	40
2.4.6.1	Test o Prueba de Kolmogórov Smirnov.....	40
2.4.7	Curvas de Intensidad Duración Frecuencia.....	41
2.4.8	Regionalización.....	42
2.4.9	Kriging.....	43
2.4.9.1	Kriging Ordinario.....	43
2.4.10	Interpolación con la Distancia Inversa Pondera.....	43
2.4.11	Error Relativo.....	45
CAPÍTULO III	46
Marco Metodológico	46
3.1	Hipótesis.....	46
3.2	Variables.....	46
3.2.1	Variables Independientes.....	46
3.2.2	Variables dependientes.....	46
3.3	Operacionalización de Variables.....	47
3.4	Tipo de Estudio.....	47
3.5	Enfoque de la Investigación.....	48
3.6	Población Muestra y Muestreo.....	48
3.7	Métodos Técnicas e Instrumentos.....	48
3.8	Plan de Procesamiento y Análisis.....	49
3.9	Metodología.....	51
3.9.1	Recopilación de Datos Pluviométricos.....	51
3.9.2	Análisis Estadístico de las Precipitaciones Proceso 1.....	56

3.9.2.1 Hallar Data Faltante con la Recta de Regresión Lineal.....	56
3.9.2.2 Precipitación Máxima Probable con Distribución de Gumbel.	59
3.9.2.3 Prueba de Bonda con el Test de Kolmogorov Smirnov.	60
3.9.2.4 Coeficiente de Determinación.	61
3.9.2.5 Curvas IDF para Precipitaciones Máximas en Horas.	62
3.9.2.6 Regresión Lineal Múltiple.	63
3.9.2.7 Coeficiente de Correlación Múltiple.	64
3.9.2.8 Regionalización de los Parámetros k , m , y n	65
3.9.2.9 Error Relativo.	65
3.9.3 Análisis Estadístico de las Precipitaciones Proceso 2.	66
3.9.3.1 Hallar Data Faltante con el Método de U.S.....	66
3.9.3.2 Datos Atípicos.	67
3.9.3.3 Hydrognomon.	69
3.9.3.4 Prueba de Bonda en Hydrognomon.	70
3.9.3.5 Calcular Periodos de Retorno.....	72
3.9.3.6 Curvas IDF para Precipitaciones Máximas en Horas.	74
CAPÍTULO IV	77
Desarrollo del Tema	77
4.1 Proceso 1.....	77
4.1.1 Determinación de las Curvas IDF.	79
4.1.1.1 Precipitación Máxima Probable Según Gumbel Tipo I.....	79
4.1.1.2 Test de Kolmogorov Smirnov.....	81
4.1.1.3 Coeficiente de Determinación.	82
4.1.1.4 Parámetros k , m y n	84
4.1.2 Regionalización de los Parámetros k , m y n	86
4.1.2.1 Método IDW Proceso 1.	87
4.1.2.2 Método Kriging Ordinary Proceso 1.	92
4.1.3 Error Relativo del Proceso 1.....	96
4.2 Proceso 2.....	96
4.2.1 Prueba de Datos Atípicos.....	98
4.2.2 Distribuciones en Hydrognomon Test de Kolmogorov Smirnov.....	98
4.2.3 Determinación de las Curvas IDF.	100
4.2.3.1 Precipitación Máxima con GEV Min (L-Moments).....	100
4.2.3.2 Parámetros k , m y n	102
4.2.4 Regionalización de los Parámetros k , m y n	104
4.2.4.1 Método IDW Proceso 2.	104
4.2.4.2 Método KO Proceso 2.	109
4.2.5 Error Relativo del Proceso 2.....	113
4.3 Comparación de los Resultado en los Procesos 1 y 2.....	113

CAPÍTULO V	114
Conclusiones y Recomendaciones.....	114
5.1 Conclusiones	114
5.2 Recomendaciones	114
Bibliografía	14
Anexos	19
INFORMACIÓN DE LOS AUTORES:	83

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación de las provincias de estudio.....	4
Ilustración 2: Distribución del Agua.....	11
Ilustración 3: Gráfica del estrés hídrico para el 2050.....	12
Ilustración 4: Ciclo del agua.....	15
Ilustración 5: Pluviómetro.....	19
Ilustración 6: Pluviógrafo.....	20
Ilustración 7: Mapa de estaciones meteorológicas automáticas 2017.....	23
Ilustración 8: Mapa de estaciones meteorológicas convencionales 2017 ...	24
Ilustración 9: Coeficiente de oblicuidad de una distribución.....	26
Ilustración 10: Aplicación del método U.S. para la estación M0124.....	28
Ilustración 11: Recta regresión lineal.....	29
Ilustración 12: Valores de r que varían de -1 a +1.....	30
Ilustración 13: Teorema de límite central.....	35
Ilustración 14: Curvas IDF.....	42
Ilustración 15: Vecindad de búsqueda.....	44
Ilustración 16: Diagrama de flujo de la metodología del Proceso 1.....	49
Ilustración 17: Diagrama de flujo de la metodología del Proceso 2.....	50
Ilustración 18: Captura de pantalla página virtual de la Biblioteca del INAMHI.....	51
Ilustración 19: Anuario Meteorológico N° 53- 2013.....	51
Ilustración 20: Mapa de Estaciones Meteorológicas.....	52
Ilustración 21: Tabla recopilada de data de la estación M0025.....	52
Ilustración 22: Mapa de las estaciones de estudio.....	55
Ilustración 23: Distribución porcentual de estaciones por cantidad de datos	56
Ilustración 24: Ejemplo de regresión lineal en Excel para la estación M0025	57
Ilustración 25: Gráfica de la Regresión Lineal de la estación M0025.....	58
Ilustración 26: Gráfico de datos atípicos de la estación M0001.....	69
Ilustración 27: Datos ingresados de la estación M0001.....	70

Ilustración 28: Gráfico de probabilidad GEV- Min L-Moments de la estación 1	71
Ilustración 29: Elegir test Kolmogorov-Smirnov en Hydrognomon.....	71
Ilustración 30: Resultados de la prueba de bondad para la estación M0001	72
Ilustración 31: Ingreso de periodos de retornos, estación M0001.....	73
Ilustración 32: Resultados periodo de retorno de 100 años, estación M0001	73
Ilustración 33: Grafica porcentual de las estaciones completas	77
Ilustración 34: Ubicación de las estaciones de prueba del proceso 1	87
Ilustración 35: Mapa de regionalización del parámetro k por IDW, proceso 1	88
Ilustración 36: Mapa de regionalización del parámetro M por IDW, proceso 1	89
Ilustración 37: Mapa de isolíneas del parámetro K por IDW, proceso 1	90
Ilustración 38: Mapa de isolíneas del parámetro M por IDW, proceso 1	91
Ilustración 39: Mapa de regionalización del parámetro k por KO, proceso 1	92
Ilustración 40: Mapa de regionalización del parámetro M por KO, proceso 1	93
Ilustración 41: Mapa de isolíneas del parámetro K por KO, proceso 1	94
Ilustración 42: Mapa de isolíneas del parámetro M por KO, proceso 1	95
Ilustración 43: Gráfica porcentual de las estaciones completas	96
Ilustración 44: Ubicación de las estaciones de prueba del proceso 2.....	104
Ilustración 45: Mapa de regionalización del parámetro k por IDW, proceso 2	105
Ilustración 46: Mapa de regionalización del parámetro M por IDW, proceso 2	106
Ilustración 47: Mapa de isolíneas del parámetro K por IDW, proceso 2.....	107
Ilustración 48: Mapa de isolíneas del parámetro M por IDW, proceso 2.....	108
Ilustración 49: Mapa de regionalización del parámetro K por KO, proceso 2	109

Ilustración 50: Mapa de regionalización del parámetro M por KO, proceso 2	110
Ilustración 51: Mapa de isolíneas del parámetro K por KO, proceso 2.....	111
Ilustración 52: Mapa de isolíneas del parámetro M por KO, proceso 2.....	112

Índice de Tablas

Tabla 1: Velocidad extrema de caída de los elementos de precipitaciones ..	17
Tabla 2: Características de las gotas de lluvia en diferentes tipos de aguacero.....	18
Tabla 3: Prueba de valores atípicos (KN) al nivel de significancia del 10%....	31
Tabla 4: Distribución de probabilidad para ajuste de información hidrológica.	33
Tabla 5: Probabilidad y periodo de retorno usados en análisis probabilístico	39
Tabla 6: Periodo de retorno en años.....	39
Tabla 7: Operacionalización de variables	47
Tabla 8: Estaciones de la Provincia de Esmeraldas.....	53
Tabla 9: Estaciones de la Provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas.....	53
Tabla 10: Estaciones de la Provincia de Manabí.	53
Tabla 11: Estaciones de la Provincia de Los Ríos.	54
Tabla 12: Estaciones de la Provincia de Cotopaxi.....	54
Tabla 13: Estaciones de la Provincia de Pichincha.....	54
Tabla 14: Estaciones de la Provincia de Carchi.	54
Tabla 15: Estaciones de la Provincia de Imbabura.....	55
Tabla 16: Formato para la Regresión Lineal con la estación M0025.	57
Tabla 17: Formato de organización de las precipitaciones.	59
Tabla 18: Formato para el cálculo de \bar{x} y S para una estación.....	59
Tabla 19: Formato para organizar la precipitación máxima probable.	60
Tabla 20: Formato para el cálculo de D en el Test de Kolmogorov - Smirnov	61
Tabla 21: Formato para calcular R^2	61
Tabla 22: Precipitaciones máximas probables en distintos tiempos de duración.....	62
Tabla 23: Intensidades de lluvia para distintas duraciones en min	63
Tabla 24: Formato para el cálculo de regresión múltiple.	64
Tabla 25: Formato para el cálculo de Coeficiente de Relación Lineal Múltiple.	65

Tabla 26: Datos requeridos para la interpolación en Qgis.....	65
Tabla 27: Porcentaje de error por el Método de interpolación IDW.....	66
Tabla 28: Porcentaje de error por el Método de interpolación KO.....	66
Tabla 29: Formato para hallar datos faltantes por el Método de la U.S.....	67
Tabla 30: Formato para hallar datos atípicos - estación M0001.....	67
Tabla 31: Parámetros y sus funciones en Microsoft Excel	68
Tabla 32: Resultados de los parámetros con la estación M0001.....	68
Tabla 33: Resultados de kn según el número de datos de la estación M0001.	68
Tabla 34: Formato para precipitaciones según el periodo de retorno	74
Tabla 35: Formato de precipitaciones máximas con ajuste.....	74
Tabla 36: Precipitación máxima probable en función del tiempo de duración	75
Tabla 37: Intensidad de la lluvia en función del periodo de retorno	76
Tabla 38: Coordenadas planas de las estaciones.....	78
Tabla 39: Precipitaciones máximas probables, de 2 a 50 años.....	79
Tabla 40: Precipitaciones máximas probables, de 100 a 500 años.	80
Tabla 41: Test de Kolmogorov - Smirnov para la distribución de Gumbel.....	81
Tabla 42: Coeficiente de Determinación (R^2) de la distribución de Gumbel.	82
Tabla 43: Parámetros k , m y n de cada estación.....	84
Tabla 44: Coeficiente de correlación múltiple para los parámetros k , m y n .	85
Tabla 45: Porcentaje de error obtenido para el método IDW proceso 1	96
Tabla 46: Porcentaje de error obtenido para el método KO proceso 1	96
Tabla 47: Coordenadas planas de las estaciones y más.....	97
Tabla 48: Estaciones con ajustes por Outlier.....	98
Tabla 49: Estaciones con mejor ajuste de distribuciones en hydrognomon.	99
Tabla 50: Resultados en porcentajes para GEV-Min (L-Moments).....	101
Tabla 51: Parámetros k , m y n para la regionalización.....	102
Tabla 52: Coeficiente de correlación múltiple para los parámetros k , m y n	103
Tabla 53: Porcentaje de error obtenido para el método IDW proceso 2	113
Tabla 54: Porcentaje de error obtenido para el método KO proceso 2	113

Tabla 55: Error obtenido por el método IDW para los procesos 1 y 2113

Tabla 56: Error obtenido por el método KO para los procesos 1 y 2113

RESUMEN

Esta investigación surge del interés en determinar la precipitación máxima en puntos específicos para proyectos como embalses, infraestructuras de drenaje y evaluación de riesgos de inundación en las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas. Debido a la escasez de estaciones pluviométricas y registros incompletos, se generan las Curvas IDF (Intensidad-Duración-frecuencia) mediante la comparación de dos procesos estadísticos, se optó por el proceso basado en la tesis de (Velasco Ramos & Garaicoa Velásquez, 2023) por su eficacia para hallar datos faltantes mediante el método US, pruebas de datos atípicos, y el uso del programa Hydrognomon para otros análisis estadísticos, seguido esto, se realizó la interpolación espacial usando los métodos la ponderación de distancia inversa y Kriging Ordinary para la regionalización de los parámetros de las curvas IDF, este enfoque integral proporcionó una estimación confiable para determinar los parámetros en cualquier área dentro de la zona de estudio.

PALABRAS CLAVES: Diseño hidráulico basado en curvas IDF - Regionalización de Curvas IDF de la costa ecuatoriana - Regionalización hidrológica en zonas con escasa información - Interpolación espacial de curvas IDF - Métodos estadísticos aplicados a la hidrología

ABSTRACT

This research arises from the interest in determining the maximum precipitation at specific points for projects such as reservoirs, drainage infrastructure and flood risk assessment in the Provinces of Esmeraldas and Santo Domingo de los Tsáchilas. Due to the scarcity of rainfall stations and incomplete records, the IDF Curves (Intensity-Duration-frequency) are generated by comparing two statistical processes, the process based on the thesis of (Velasco Ramos & Garaicoa Velásquez, 2023) was chosen. for its effectiveness in finding missing data using the US method, outlier testing, and the use of the Hydrognomon program for other statistical analyses, following this, spatial interpolation was performed using the inverse distance weighting and Ordinary Kriging methods for regionalization. of the parameters of the IDF curves, this comprehensive approach provides a reliable estimate for determining the parameters in any area within the study zone.

KEY WORDS: Hydraulic design based on IDF curves - Regionalization of IDF curves of the Ecuadorian coast - Hydrological regionalization in areas with scarce information - Spatial interpolation of IDF curves - Statistical methods applied to hydrology

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1 Introducción

La investigación de los recursos hídricos es clave en el desarrollo de estructuras hidráulicas por su impacto directo en su inversión y beneficios que genera. Si una zona o región está constantemente expuesta a precipitaciones fuertes que provocan crecidas e inundaciones, por eso es esencial estudiar las precipitaciones con un análisis que establezca una conexión entre intensidad de lluvia, duración y frecuencia.

El análisis de precipitación más conocido son las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), misma que muestran una idea de la intensidad de la precipitación durante un período de tiempo de diseño y nos permiten estimar precipitaciones o tormentas de diseño. Estas curvas se pueden interpolar utilizando técnicas de regionalización, misma que recopilan datos y proporcionan información en áreas donde los datos meteorológicos son escasos, estos parámetros deben ser similares con los datos reales de la localidad.

El país cuenta con estaciones meteorológicas, cuya función es recolectar datos de precipitación, temperatura, entre otros. En un periodo de tiempo diario (24 horas) y que a su vez por no tener el mantenimiento adecuado es muy evidente encontrarse con datos faltantes o inexistentes, en los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), o ente que administra las estaciones. A pesar de ello, la información accesible es escasa y limitada, pues las estaciones meteorológicas no cubren todo el territorio nacional, además de su distante ubicación entre estas, en la mayoría de los casos tienen datos incompletos o inexistentes y dicha información está limitado por las agencias responsables de la administración.

Razón por la cual la presente investigación matemática propone realizar modelos, poniendo a disposición una metodología para determinar los parámetros de las ecuaciones de las curvas IDF para las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas.

1.2 Situación Problemática

En las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas la data meteorológica existente es muy limitada, por el número reducido de estaciones y a la vez muy dispersas geoespacialmente que no abarcan todo el territorio provocando una falta importante de data de precipitación en las provincias mencionadas debido a la distribución irregular de las estaciones.

La Provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas (CONGOPE, 2024) tiene una extensión $3770,08 \text{ km}^2$, y consta con 2 estaciones meteorológicas con data disponible. Mientras que la Provincia de Esmeraldas (CONGOPE, 2024), tiene una extensión de $15808,8 \text{ km}^2$ y dispone de 12 estaciones en la misma condición. Aunque existen más estaciones meteorológicas en ambas provincias, no todas cuentan con registro completo y accesible. Las 14 estaciones con datos validos fueron documentadas en el Anuario Meteorológico (INAMHI, Anuario Meteorológico, 2017), pero resultan insuficientes para cubrir adecuadamente la extensión territorial de estas zonas. Considerando lo antes manifestado, se deben tomar acciones para evitar diseños hidrológicos inadecuados en las Provincias que son objeto del presente estudio, y se impida entre otros eventos colapsos como lo visto a inicios de año 2016 en la Provincia de Esmeralda ocasionando pérdidas de vidas humanas y recursos (AFP, 2016).

1.3 Justificación

Los estudios hidrológicos requieren del análisis de cuantiosa información hidrometeorológica; esta información puede consistir en datos de precipitación, caudales, temperatura, evaporación, entre otros. Los datos recopilados, solo representan una información en bruto, pero si éstos se organizan y analizan en forma adecuada, proporcionan al Hidrólogo e Ingeniero Civil una herramienta de gran utilidad, que le permite tomar decisiones en el diseño de estructuras hidráulicas, (Bejar, 2002).

El conocimiento de la hidrología en el Ecuador es muy limitado debido a la insuficiente bibliografía que no alcanza a satisfacer las necesidades de quienes estudian este tema. (Gutiérrez, 2014).

La escasez de los datos pluviométricos en regiones del Ecuador ha sido un desafío, para el diseño de las curvas IDF, la presente investigación considera métodos de análisis para regionalizar las intensidades, lo que nos permitirá conocer e interpolar información en áreas con poca data meteorológica.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Desarrollar el análisis comparativo de los modelos matemáticos para la regionalización de la ecuación intensidad-duración-frecuencia (curva IDF), en las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas, mediante el análisis estadístico de datos de lluvia en la obtención de parámetros hidrológicos en lugares con poca o ninguna información.

1.4.2 Objetivo Específicos.

Ejecutar el análisis estadístico de datos de precipitación utilizando modelos matemáticos, implementados con la herramienta Hydrognomon.

Crear los mapas continuos de los parámetros para las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas, aplicando los métodos de regionalización para las curvas IDF con QGIS.

Realizar la comparación de los resultados obtenidos en los modelos matemáticos, observando las ventajas y desventajas para elección del modelo y obteniendo la mayor eficiencia en el caso de datos faltantes.

1.5 Delimitación del Tema

El objetivo de este estudio es obtener análisis comparativo de los modelos matemáticos para la regionalización de las curvas IDF para las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas. Se recopiló datos de las estaciones meteorológicas de estas Provincias y se utilizarán pruebas estadísticas para el tratamiento de la información y el desarrollo de las curvas IDF, en el análisis de la distribución de probabilidad para las variables hidrológicas se verificará utilizando el Software Hydrognomon para elegir el mejor ajuste, y finalmente se empleará un método de interpolación con el Software QGIS para la regionalización. La información recolectada incluye los años 1971-2013, lo que nos proporciona información de más de 40 años.

1.6 Ubicación de Proyecto

Este estudio se centra en las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas, ubicados en la Costa Ecuatoriana.

La Provincia de Esmeraldas, fundada el 20 de noviembre de 1897, con su Capital Cantón Esmeraldas, tiene una extensión territorial de 15808,8 km^2 , y una población de 553,900 habitantes, (Esmeraldas, Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2024). Por su parte, la Provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas, Fundada el 6 de noviembre del 2007, y el Cantón Santo Domingo como Capital, tiene una extensión territorial de 3770,08 km^2 y alberga 492,969 habitantes, según (CONGOPE, Consorcio de Gobiernos Autonomos Provinciales del Ecuador, 2024). Estos datos proporcionan un contexto importante para la investigación, ya que ambas Provincias presentan características geográficas y demográficas significativas.

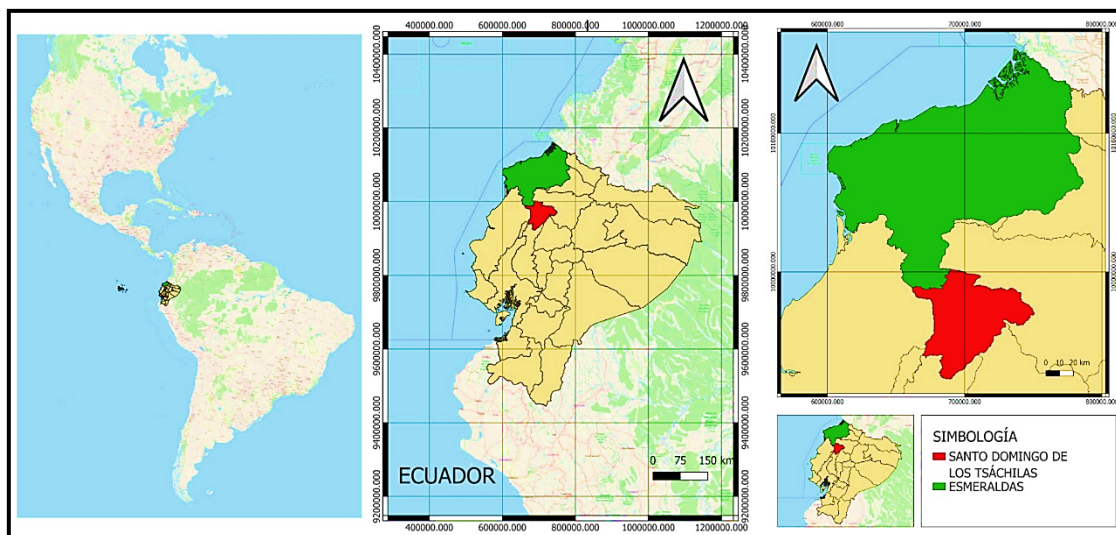


Ilustración 1: Ubicación de las provincias de estudio.

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes

El trabajo de investigación realizado por Jazmín Andrea Becerra Oviedo, Liza Fernanda Sánchez Mazorca, Pedro Mauricio Acosta Castellanos y José Luis Díaz Arévalo (2015): "Regionalización de curvas IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos en la Sabana Occidental del departamento de Cundinamarca", que realizó el respectivo cálculo de las curvas IDF a partir del análisis de las intensidades ubicadas en la región, se utiliza el Método de Gumbel y las respectivas pruebas de bondad de ajuste, además aplican diferentes técnicas como la regresión lineal y la determinación de los coeficientes de correlación para la interpolación de las intensidades de los parámetros alfa y u . En la regionalización de las intensidades para la zona de estudio, se aplica un método estadístico basado en la correlación lineal de las intensidades en función de las variables topográficas de la región (altitud, latitud y longitud). En este caso se analizan las diferencias encontradas usando como elementos de interpolación las intensidades registradas y los parámetros alfa y u , para el periodo 1986 a 2007, (Becerra, 2015).

El trabajo de investigación realizado por Pietro Corapi y Nedin Nuñez Neira (2022): "Regionalización de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en las Provincias de Santa Elena y Manabí", que dada una baja densidad de estaciones pluviométricas en la costa del Ecuador, junto con registros discontinuos e incompletos, ocasionan que la estimación de las ecuaciones de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) sea compleja, dando lugar a sobrestimaciones o subestimaciones de las precipitaciones en sectores sin datos. Los datos de precipitación, de las estaciones meteorológicas disponibles fueron empleados en un análisis estadístico con el objetivo de verificar si se ajusta a una distribución probabilística. Posterior a esto, mediante regresión lineal múltiple, se determinó cada parámetro de las ecuaciones correspondientes a cada estación. Los parámetros obtenidos fueron distribuidos en el área de estudios por medio de métodos de análisis espacial

como Distancia Inversa Ponderada y Kriging Ordinario en el software QGIS. Se demostró la validez de cada método con estaciones que han sido excluidas en el análisis espacial, donde se comprobaron un error menor al 10%. El Método de Kriging Ordinario ha demostrado una distribución más adecuada, a partir de la cual se ha generado un mapa publicado en ArcGIS Online. Este mapa permitió la lectura de los parámetros de la ecuación de curvas IDF en cualquier coordenada dentro de las provincias de estudio, para la elaboración se consideró el periodo de 1990-2013 (Nuñez Neira & Corapi, 2022).

El trabajo de investigación realizado por Marcos Jesús Velasco Ramos & Joshua José Garaicoa Velásquez (2023): "regionalización de la curva IDF para las Provincias de los Ríos, Guayas y El Oro", donde se utilizó distintos análisis estadísticos para la complementación de datos y fiabilidad, luego se determinó mediante la prueba de bondad de distribución de mejor ajuste para las estaciones analizadas. Después se determinaron los parámetros de la curva IDF para cada estación. Estos fueron regionalizados mediante interpolación espacial, específicamente usando la Ponderación de Distancia Inversa y Kriging Ordinario, quien mostro los resultados con menor error. Finalmente se subieron los parámetros regionalizados a un mapa generado de QGIS en línea que permite revisar los parámetros en cualquier coordenada dentro de la zona de estudio, para el período 1990-2013, (Velasco Ramos & Garaicoa Velásquez, 2023).

2.2 Definición de Terminos Básicos

ArcGIS: es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que este accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorios (ArcGIS).

Caudal: cantidad de agua que mana o corre (DLE).

Ecuación: igualdad que contiene una o más incógnitas. (DLE).

Embalse: gran depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica (DLE).

Escorrentía: corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales (DLE).

Estrés hídrico: es cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible durante un período determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad (Zarza).

Estructuras hidráulicas: con aquellas construcciones que son diseñadas con el objetivo de administrar el uso del agua de manera adecuada, ya sea con fines de, consumo humano o para su uso industrial. El diseño para la construcción de estas estructuras requiere diversos estudios y análisis, que permiten el correcto funcionamiento de estas estructuras; por tanto, este Manual de diseño de estructuras hidráulicas, contiene pautas y consideraciones para diseñar correctamente las diferentes estructuras (Geología, 2021).

Frecuencia: número de elementos comprendidos dentro de un intervalo en una distribución determinada (DLE).

Granulometría: parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos, también es el tamaño de las piedras, granos, arena. Etc., que constituyen un árido o polvo (DLE).

Hidrometeorología: es la ciencia (estrechamente ligada a la meteorología, la hidrología y la climatología) que estudia el ciclo del agua en la naturaleza. Abarca el estudio de las fases atmosférica (evaporación, condensación y precipitación) y terrestre (intercepción de la lluvia, infiltración y derramamiento superficial) del ciclo hidrológico y especialmente se sus interrelaciones. Comprende la observación de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de ríos y los volúmenes almacenados en embalses naturales y artificiales, así como los factores meteorológicos.

El desarrollo de esta ciencia ayuda a la comprensión de los fenómenos hidrometeorológicos, así como el desarrollo de sistemas y herramientas hidrometeorológicas que vienen siendo cada día más utilizadas en la observación, predicción, modelización, prevención y alerta temprana, en las áreas de control de inundaciones y aplicaciones específicas para el control y gestión de embalses (CRAHI).

Hydrognomon: es un software para la gestión y análisis de datos hidrológicos. La parte principal del análisis de datos hidrológicos consiste en aplicaciones de procesamiento de series de tiempo, tales como la agregación y regularización de intervalos de tiempo, interpolación, análisis de regresión y llenado de valores faltantes, pruebas de consistencia, filtrado de datos, visualización gráfica y tabulador de series de tiempo etc.

El programa también admite aplicaciones hidrológicas específicas, incluidos modelos de evapotranspiración, análisis de descarga, pruebas de homogeneidad, métodos de balance de agua, etc. Y el módulo estadístico proporciona herramientas para análisis de muestreo, funciones de distribución, pronóstico estadístico, simulación de Monte-Carlo, análisis de eventos extremos y construcción de curvas intensidad-duración-frecuencia (Hydrognomon, 2018).

Interpolar: calcular el valor aproximado de una magnitud en un intervalo cuando se conocen algunos de los valores que toman a uno y otro lado de dicho intervalo (DLE).

Irrigación: acción y efecto de irrigar (DLE).

Meteorología: ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos (DLE).

Prueba de bondad de ajuste: una prueba de bondad de ajuste permite la hipótesis de que una variable aleatoria sigue cierta distribución de probabilidad y se utiliza en situaciones donde se requiere comparar una distribución observada con una teórica o hipotética, compararla con datos históricos o con la distribución conocida de otra población (Quintero & Duran, 2004).

QGIS: es el software que se utiliza para construir un sistema de información geográfica (SIG), consta de un conjunto de aplicaciones con las cuales se

pueden crear datos, mapas, modelos, aplicaciones con las cuales se pueden crear datos, mapas modelos, aplicaciones y consultar datos geoespaciales, los datos geoespaciales se refieren a información geográfica de una entidad (CUOM).

Recursos hídricos: los recursos hídricos consisten en agua dulce y salobre, independientemente de su calidad, en cuerpos de aguas continentales, incluidas las aguas superficiales y subterráneas. Las estadísticas provienen de monitoreos, mediciones y modelos hidrometeorológicos e hidrológicos. La gestión de los recursos hídricos, en términos de cantidades, distribución y calidad, es hoy una de las prioridades más importantes del mundo. Los formuladores de políticas necesitan estadísticas sobre los recursos hídricos, su extracción, uso y retornos por muchas razones, entre ellas: estimar la cantidad de recursos hídricos disponibles; monitorear la extracción de cuerpos de agua clave para prevenir la sobreutilización; asegurar el uso equitativo del agua extraída; y rastrear el volumen de agua que retorna al ambiente (Unidas).

Regionalizar: organizar con criterios descentralizadores un territorio, una actividad, una entidad, una empresa (DLE).

2.3 Bases Teóricas Científicas

El análisis de las modelos matemáticas en la regionalización de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) es fundamental para el diseño de estructuras hidro-técnica y la gestión de áreas con escasos datos de precipitación. Para llevar a cabo un estudio riguroso, es necesario comprender los conceptos y teorías fundamentales que permiten realizar un análisis confiable. Estos conocimientos son esenciales para la elaboración y construcción de proyectos de ingeniería hidráulica que sean sostenibles en el tiempo. En este marco teórico, se exploran los conceptos y teorías claves para la regionalización de las curvas IDF, así como su aplicación en las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas.

2.3.1 La Hidrología.

La hidrología cuenta con diversas definiciones, sin embargo, una de las más relevantes es la siguiente:

La hidrología es la ciencia que estudia al agua de la tierra: su distribución y circulación, sus propiedades físicas y químicas, su interacción con el ambiente y con los seres vivos y en particular con los seres humanos. Puede considerarse que la hidrología abarca toda la ciencia hídrica. En forma más estricta, puede definirse como el estudio del ciclo hidrológico, es decir, la circulación ininterrumpida del agua entre la tierra y la atmósfera. (Chow, Maidment, & Larry, 1994).

La hidrología está dividida en dos grandes ramas: la superficial y la subterránea. Esta investigación se enfoca en la hidrología superficial, la cual aborda el estudio de las aguas que se encuentran en la superficie terrestre.

2.3.2 Importancia de la Hidrología.

La hidrología proporciona al ingeniero o hidrólogo, los métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño, la planeación y la operación de estructuras hidráulicas, (Bejar, hidrología, 2002). Además, este autor nos menciona ciertos problemas como:

Determinar si el volumen apartado de una cierta corriente es suficiente para:

- El abastecimiento de agua a una población
- El abastecimiento de agua potable a una industria
- Satisfacer la demanda de un proyecto de irrigación
- Satisfacer de demanda de un proyecto de generación de energía eléctrica
- Permitir la navegación
- Entre otros

Definir la capacidad de diseño de obras como:

- Alcantarillas
- Puentes
- Estructuras para el control de avenidas
- Presas
- Vertederos
- Sistema de drenaje:

- Agrícola
- Poblaciones
- Carreteras
- Aeropuertos

2.3.3 Distribución del Agua en el Planeta.

La cantidad de agua en el planeta es enorme. Si se extendiera sobre toda la tierra formaría una capa de unos 3000 m de profundidad, sin embargo, alrededor del 97% de esta agua está en los mares y océanos y es salada, apenas el 3% es agua dulce, por lo que no se puede usar ni para beber ni para agricultura, ni para la mayor parte de usos industriales. (Gutiérrez, 2014).

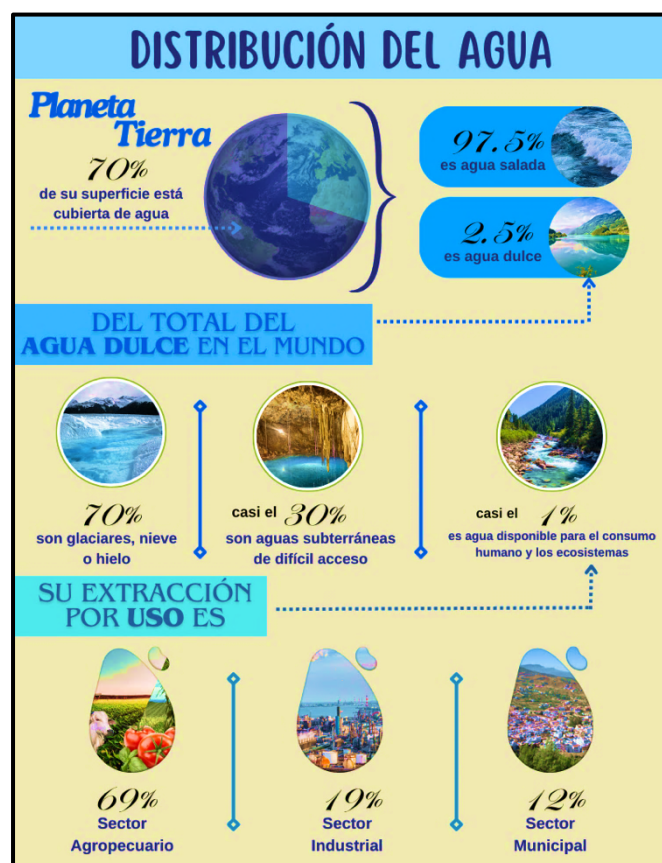


Ilustración 2: Distribución del Agua

Fuente: (FCEA, 2017)

El agua es un recurso vital e indispensable para la vida de todos los seres vivos, la superficie de la tierra es principalmente acuosa. El agua constituye un factor de producción clave en cualquier sistema económico. Se trata de un recurso fundamental para la generación de energía eléctrica, para el desarrollo de

actividades agrarias, industriales, turísticas, etc. (Jonatan Rodríguez, Javier Córdova, Maria Baquerizo, & Josué Rodríguez).

2.3.4 Disponibilidad de Agua a Nivel Mundial.

Nuevos datos del Aqueduct Water Risk Atlas de WRI muestran que 25 países, que albergan a una cuarta parte de la población mundial, enfrentan cada año un estrés hídrico extremadamente alto, y consumen regularmente casi todo su suministro de agua disponibles. Al menos el 50% de la población mundial (alrededor de 4 mil millones de personas) vive en condiciones de gran escasez de agua aproximadamente un mes al año. (Samantha Kuzma, Liz Saccoccia, & Marlena Chertok, 2023).

Un país frente a “estrés hídrico extremo” significa que está utilizando alrededor del 80% de su suministro disponible, mientras que “estrés hídrico alto” significa que utiliza el 40% de su suministro.

Para 2050, se espera que mil millones de personas vivan con un estrés hídrico extremadamente alto, incluso si el mundo limita el aumento de la temperatura global entre 1.3 °C y 2.4 °C para 2100, un escenario optimista. (Samantha Kuzma, Liz Saccoccia, & Marlena Chertok, 2023).



Ilustración 3: Gráfica del estrés hídrico para el 2050

Fuente: (AQUEDUCT, 2023)

2.3.5 Historia de la Hidrología.

De acuerdo con el trabajo de la profesora (Vélez Otálvaro, 2000) muchos de los filósofos de la antigüedad centraron su atención en la producción de agua superficial y fenómenos que en las diversas etapas y ciclo del agua.

Afirma que; la evolución de la hidrología a lo largo de la historia ha sido marcada por importantes hitos y descubrimientos que han contribuido con el desarrollo de esta ciencia. desde los primeros filósofos que se interesaron en los procesos del agua, hasta los avances científicos y tecnológicos de la era moderna, la hidrología ha experimentado una transformación significativa.

En la antigüedad, personajes como homero especulaban sobre la existencia de un gran lago subterráneo que alimentaba ríos, mares y pozos, mientras que marcos Vitruvio sentó las bases para la teoría del ciclo hidrológico al hipotetizar sobre el movimiento del agua desde las áreas montañosas hasta las tierras bajas. A lo largo de los siglos, se realizaron aplicaciones prácticas exitosas de principios hidrológicos en proyectos como represas para irrigación en el Nilo y sistemas de protección contra inundaciones en ciudades como Mesopotamia.

En el siglo XVII, pioneros como Perrault, Mariotte y Hallet iniciaron estudios más científicos en hidrología, realizando mediciones precisas de variables como precipitación, evaporación y capilaridad, que fueron luego empleadas para calcular caudal. Estos avances sentaron las bases de los estudios en la hidrología moderna, lo cual se consolidó en el siglo XVIII con importantes desarrollos teóricos y en instrumentación.

Durante el siglo XIX, floreció la hidrología experimental con descubrimientos claves como la ley de Darcy y la fórmula de Thiem-Dupuit en hidrología subterránea. En el siglo XX trajo consigo un enfoque más teórico en los problemas hidrológicos, impulsado por avances científicos y tecnológicos que permitieron una mejor comprensión de las relaciones entre variables hidrológicas y el uso de computadoras para análisis matemáticos.

Después de 1950 existen métodos más prácticos para resolver problemas hidrológicos, lo cual nos permite una mejor comprensión de una relación física entre distintas variables hidrológicas y también abordar desafíos como el

control de inundaciones, el diseño de drenajes y la gestión eficiente de embalses.

2.3.6 Hidrología en la Ingeniería.

(Aparicio Mijares, 1989) explica que el ingeniero civil es el encargado de diseñar, construir o supervisar instalaciones de obras hidráulicas, como; el diseño de puentes, estructuras de control de inundaciones, presas, vertederos, sistemas de drenaje, carreteras, aeropuertos, sistemas de suministros de agua. Cada una de estas infraestructuras requieren análisis hidrológicos detallados para determinar los eventos de diseño adecuado. El objetivo es identificar estos eventos críticos, equivalentes a las cargas de diseño en ingeniería estructural. Por lo tanto, un análisis exhaustivo representa el primer paso crucial en la planificación y ejecución de proyectos hidráulicos.

Los estudios hidrológicos permiten determinar la disponibilidad de fuentes de agua naturales y si el abastecimiento es adecuado. La seguridad de estructuras como presas depende de la determinación de tormentas de diseño y la conversión a caudales de avenida, además la estabilidad de muros y terraplenes se define a partir de los estudios hidrológicos e hidráulicos que determinan los niveles probables del agua.

La hidrología es esencial para el pronóstico de avenidas y sequías, lo cual permite una operación correcta de estructuras hidráulicas, especialmente aquellas destinadas a la generación de energía y control de inundaciones.

La hidrología es una ciencia fundamental para el aprovechamiento de los recursos hídricos y el diseño de obras de defensa, a pesar de que aún tiene un desarrollo incompleto. Existen diversos métodos analíticos y estadísticos aceptados en la práctica de la ingeniería civil.

2.3.7 Ciclo Hidrológico del Agua.

Uno de los procesos fundamentales para la humanidad es el ciclo del agua, el cual se ha explicado desde los principios académicos para su comprensión, los autores (Linsley, Kohler, & Paulus, 1958) indican que el ciclo hidrológico es un tema en el que comienza el estudio de la hidrología. Este inicia con la evaporación del agua específicamente el de los océanos, el vapor es transportado por el aire. Estando en condiciones adecuadas el aire se

condensa para formar las nubes, las que a su vez se pueden transformar en precipitación, la precipitación cae a la tierra y se dispersa en diversa manera. La mayor parte de esta es retenida temporalmente por el suelo. Y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción de agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo o a través de este hasta alcanzar los canales de las corrientes. La otra parte restante penetra más profundamente en el suelo para integrarse al suministro de agua subterránea. Bajo la influencia de la gravedad, tanto la escorrentía superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas más bajas y con el tiempo pueden incorporarse a los océanos. Sin embargo, una cantidad importante de la escorrentía superficial y del agua subterránea regresa a la atmósfera por medio de la evaporación y transpiración, antes de alcanzar los océanos. Como se observa en la ilustración 4.

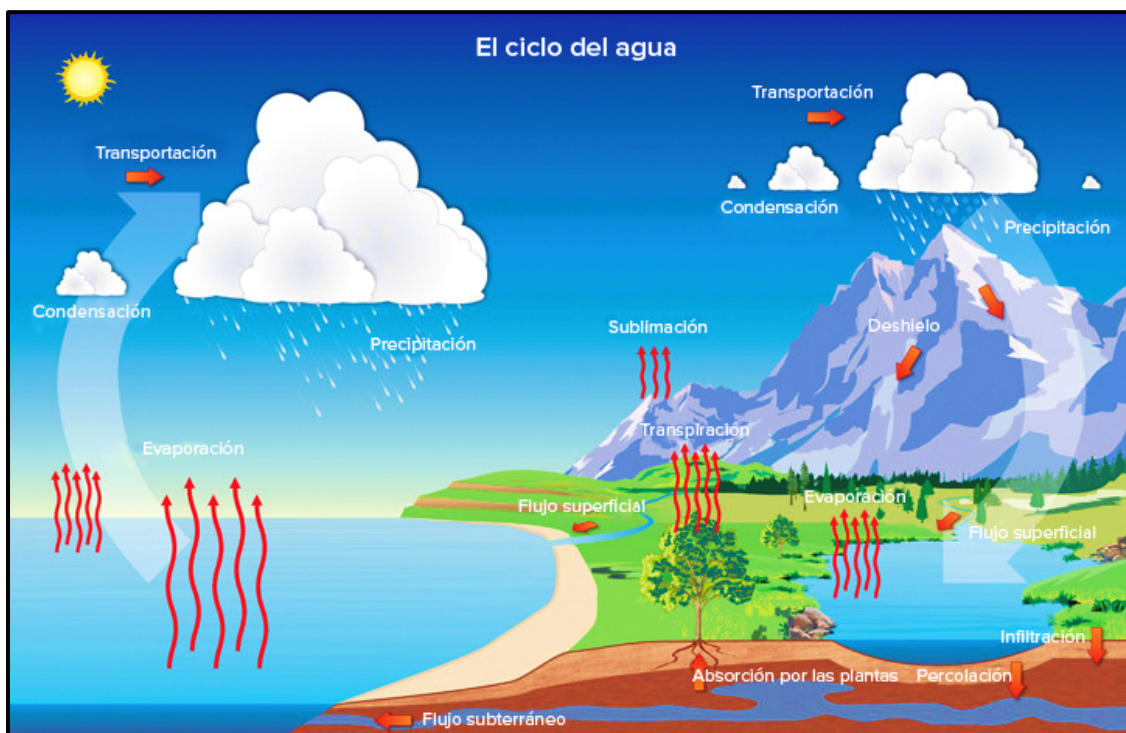


Ilustración 4: Ciclo del agua

Fuente: (Flickr, 2012)

Algunas veces la naturaleza parece trabajar demasiado para producir lluvias torrenciales que hacen crecer los ríos en exceso. En otras ocasiones la maquinaria del ciclo parece detenerse completamente y con ella la precipitación y la escorrentía. En zonas adyacentes las variaciones en el ciclo

pueden llegar a ser bastante diferentes. Estos extremos de crecientes y sequías son precisamente los que a menudo tiene mayor interés para el ingeniero hidrólogo, puesto que muchos proyectos de ingeniería hidráulica se diseñan para la protección contra los efectos perjudiciales de los extremos. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1958).

2.3.8 Hidrología Superficial.

La hidrología superficial es una rama de la hidrología que se ocupa del estudio, análisis y gestión del agua que fluye y se almacena en la superficie terrestre. Incluye el de los ríos, lagos y arroyos, así como la precipitación, el escurrimiento y la interacción de estas aguas con el ambiente, además de su impacto en los ecosistemas y con la humanidad. La hidrología superficial se preocupa por entender como las precipitaciones se distribuyen y transforman en escurrimiento, y como este escurrimiento se mueve a través del paisaje se almacena o se pierde mediante procesos, como la infiltración en el suelo o la evaporación. (Philip B, Wayne C, & Baxter E, 2013).

2.3.8.1 La Meteorología.

La meteorología es una rama interdisciplinaria de la física atmosférica que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, sus fenómenos y las leyes que la rigen. El estado del tiempo, o tiempo meteorológico, hace referencia al conjunto de características que presenta la atmosfera en un lugar y momento específico (por ejemplo; temperatura, humedad, vientos, precipitación, presión, nubosidad, etc.). Todas estas variables, sus interacciones y sus manifestaciones tienen lugar en la troposfera, bajo la estratosfera. La meteorología evalúa el estado del tiempo en un instante actual, e intenta predecirlo en un futuro cercano. (William Antonio Lozano-Rivas, 2018).

La meteorología es esencial para entender, monitorear y pronosticar las condiciones y estados del tiempo, lo cual ayuda a la implicación práctica, no solo en la ingeniería, si no en varios sectores de la sociedad.

2.3.8.2 Precipitaciones.

El análisis realizado en este tema se basa en la información del libro de (Remenieras, 1971), el cual menciona que existen diversos tipos de

precipitaciones ya sea de forma líquida como solida: nieve, granizo. Estos son a menudo, medido sin discriminación por su "equivalente en agua" mediante pluviómetros.

Uno de los parámetros para entender como interactúan las gotas en el medio ambiente es el estudio de la velocidad de caída y granulometría de las gotas de lluvia. Según el físico Philipp Lenard y Law se obtuvo una tabla en la que se pueden comparar las velocidades de caída:

Tabla 1: Velocidad extrema de caída de los elementos de precipitaciones

LLUVIA			NIEVE Y GRANIZO	
Diámetro de las gotas (mm)	Velocidad de la suspensión (m/s)	Velocidad extrema de caída en aire en calma (m/s)	Tipo	Velocidad extrema aire en calma (m/s)
0.5	2.3	"	cristales en estrellas placas	0.41
1.0	4.2	4.4	hexagonales cristales en	0.54 - 0.56
2.0	6.6	5.9	estrella	
3.0	8.0	7.0	aglomerados	1.00
4.0	8.9	7.7	--	12
5.0	9.2	7.9	granizos de ø medio	16
5.5	9.3	8.0	de 10 mm	52
			20 mm	
			76 mm	

Fuente: (Remenieras, 1971)

Además, se presenta una tabla detallada que permite analizar la estructura de los diferentes tipos de lluvias según la clasificación propuesta por Lenard:

Tabla 2: Características de las gotas de lluvia en diferentes tipos de aguacero.

GOTAS		NÚMERO DE GOTAS POR M ² Y POR SEGUNDO								
Diámetro en mm	Volumen en mm ³	A		B	C	D	E	F	G	H
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.5	0.065	1000	1600	129	60	0	100	514	679	7
1.0	0.524	200	120	100	280	50	1300	423	524	233
1.5	1.77	140	60	73	160	50	500	359	347	113
2.0	4.19	140	200	100	20	150	200	138	295	46
2.5	8.18	0	0	29	20	0	0	156	205	7
3.0	14.1	0	0	57	0	200	0	138	81	0
3.5	22.4	0	0	0	0	0	0	0	28	32
4.0	33.5	0	0	0	0	50	0	0	20	39
4.5	47.7	0	0	0	0	0	200	101	0	0
5.0	65.4	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Total:		1480	1980	488	540	500	2300	1829	2179	502
Intensidad de la lluvia:										
en mm/min		0.06	0.07	0.10	0.04	0.31	0.75	0.57	0.38	0.25
en mm/h		3.6	4.2	6.00	2.40	18.6	43.2	34.2	22.8	15.00

Fuente: (Remenieras, 1971).

- A.** Lluvia "que parecen muy ordinarias".
- B.** Lluvia con interrupciones durante las cuales el sol brilla.
- C.** Comienzo de un corto aguacero.
- D.** Lluvia súbita procedente de una pequeña nube.
- E.** Lluvia violenta análoga a un grano con un poco de granizo.
- F.** Periodo más intenso de un aguacero.
- G.** Periodo menos intenso de un aguacero.
- H.** Periodo final de una lluvia continua.

2.3.8.3 Clasificación de las Precipitaciones.

Se dividen en 3 clases:

- Precipitación por convección
- Precipitaciones orográficas
- Precipitaciones ciclónicas o de frente

En las zonas tratadas en este estudio, (Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas) existen dos tipos de precipitación la convección, que ocurre en climas cálidos donde las nubes se forman por insolación intensa, estas pueden estar acompañados de relámpagos, truenos y vientos locales. Y la precipitación orográfica que se presenta en zonas montañosas donde las masas de aire húmedo tienden a elevarse, formar una cobertura nubosa y desatar la lluvia.

2.3.8.4 Instrumentos de Medición de las Precipitaciones.

En Ecuador existe diversas estaciones meteorológicas que nos ayudan a llevar los registros de las precipitaciones, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) es el encargado de monitorear dichas estaciones. Las unidades de medidas de las precipitaciones son lineales, estas deben leerse con una precisión de 0.2 mm y de ser posible con una precisión de 0.1 mm. Las cantidades semanales o mensuales deben leerse con una precisión de 1 mm. En nuestro país las lecturas diarias se lo realizan a las 07h00. (INAMHI, ISSU, 2011).

2.3.8.4.1 Pluviómetros.

Es el instrumento más frecuente que se utiliza para medir la precipitación. Se utiliza varios tamaños y formas de la boca y la altura del pluviómetro según los países. La cantidad de precipitación captada de un pluviómetro se mide utilizando una regla graduada para determinar la profundidad, midiendo el volumen o pesando el contenido. Se realiza la medida mediante una probeta graduada en milímetros. (INAMHI, ISSU, 2011).

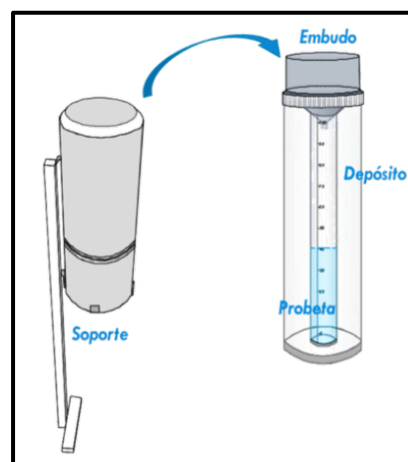


Ilustración 5: Pluviómetro

Fuente: (INTESCO, 2024).

2.3.8.4.2 Pluviógrafos.

Por lo general se utilizan tres tipos de pluviógrafos: el de peso, el de balanza o cangilón y el de sifón. Este tipo de instrumentos nos permite registrar o grabar en forma continua la precipitación lo que nos permite calcular intensidad. (INAMHI, ISSU, 2011).

Estos instrumentos poseen la misma función, de recolectar y registrar la lluvia caída, pero el mecanismo de cada uno es diferente, el pluviómetro utiliza un embudo y una probeta calibrada en mm para medir manualmente la cantidad de lluvia cada 12 o 24 horas, mientras que el pluviógrafo posee un sistema automatizado que envía la lluvia recolectada a un colector mediante un sifonaje y registra las variaciones de precipitación en un tambor con papel gráfico. (INTESCO, 2024).

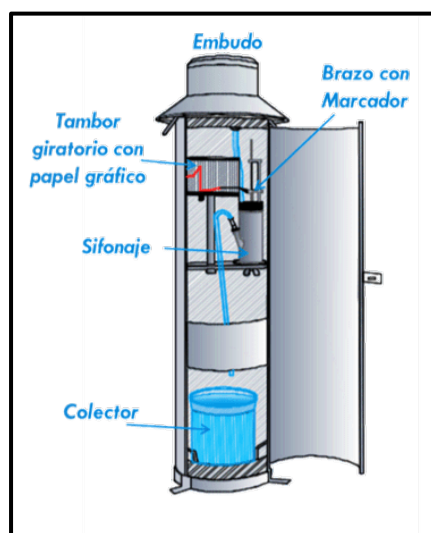


Ilustración 6: Pluviógrafo

Fuente: (INTESCO, 2024).

2.3.8.5 Escorrentía.

(Aparicio Mijares, 1989) explica que el escurrimiento es el agua que proviene de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que cae en la superficie terrestre (una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada) sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

Cuando la precipitación contacta con el suelo, inicialmente se infiltra hasta las capas superficiales del mismo. A medida que esta alcanza su capacidad máxima de absorción, comienza el proceso de escorrentía, donde el agua fluye sobre la superficie terrestre. Esto es también llamado como flujo superficial, continua hasta que el agua alcanza cauces formados, mientras avanza se sigue infiltrando y evaporando en pequeñas cantidades, a esto se le denomina escurrimiento superficial.

2.3.9 Meteorología y Climatología.

Son las dos ramas científicas esenciales en el estudio del clima, la física de la atmósfera o meteorología estudia las leyes que gobiernan el funcionamiento del sistema climático, y la climatología estudia la localización y distribución espacial de las variables del clima y su relación con la vegetación, los cultivos o el hombre.

Ambas están íntimamente correlacionadas y sus límites son difíciles de establecer, aunque de forma simplificada podemos decir que la predicción del tiempo es el objeto fundamental de la meteorología, el meteorólogo es el hombre del tiempo; el climatólogo por su parte define y caracteriza los diferentes tipos de climas que se observan en la superficie terrestre. (García, 2012).

2.3.9.1 Climatología de las Zonas de Estudio.

Para aproximarse a la climatología de un lugar, región o país, es necesario considerar los factores que modifican el clima y los elementos del clima.

En la región amazónica y en el noroeste de la Provincia de Esmeraldas que dormán parte de la región costa, se encuentran áreas lluviosas del país, con una precipitación anual entre 3000 y 4000 mm. estos niveles de lluvia se deben a la abundante humedad y los sistemas de vientos que se encuentran en el área. Cabe recalcar que en la costa el periodo más lluvioso se extiende desde diciembre hasta mediados de mayo. La distribución irregular de las lluvias se ve influenciada por las corrientes de Humboldt y El Niño, dos zonas climáticas principales: una cálida, fresca y seca, y otra cálida, ardiente y húmeda.

La región interandina, tiene dos estancias lluviosas que va desde febrero a mayo y de octubre a noviembre, mientras que las estaciones secas van desde

junio a septiembre y de diciembre a enero. Las precipitaciones anuales en la región varían entre 500 y 1500 mm esto se debe a la altitud que juega un papel importante en la distribución de las lluvias, con precipitaciones de larga duración y de poca intensidad en alturas superiores a 3500 m. en esta zona los patrones anuales de precipitación en la región andina del Ecuador están profundamente influenciados por las oscilaciones de la zona de convergencia intertropical.

2.3.10 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

El INAMHI es el servicio meteorológico e hidrológico del Ecuador creado por ley, como una necesidad y un derecho fundamental de la comunidad, con capacidad y la obligación de suministrar información vital sobre el tiempo, el clima y los recursos hídricos para la protección de la vida humana y los bienes frente a los desastres naturales. Durante 5 décadas, el INAMHI permaneció a la vanguardia de la seguridad y bienestar de la comunidad. Los datos sobre temperatura, lluvia, humedad, dirección y velocidad del viento, niveles de agua superficiales y subterráneas, caudales de los ríos entre otros, fortalecen las tareas cotidianas del país. (INAMHI, 50 AÑOS ECUADOR, 2011).

2.3.10.1 Estaciones Meteorológicas.

Según (INAMHI, ISSU, 2011) el lugar donde se realiza la evaluación de uno o varios elementos meteorológicos se denomina regularmente estación meteorológica.

Las estaciones meteorológicas se clasifican en varios tipos según los objetivos y los parámetros que se desee medir.

Entre las principales tenemos las siguientes:

- Climatología
- Agrometeorológicas
- Sinópticas (de la superficie y en altitud)
- Aeronáuticas
- Especiales

Estas se establecen en la superficie terrestre de la tierra, el mar y deben estar espaciadas de tal manera que sea representativa del sector y garantice una cobertura meteorológica adecuada.

2.3.10.2 Estaciones Meteorológicas del Ecuador.

Según el diario las (Primicias, 2021) nos mencionan que el INAMHI, posee en el país 583 estaciones convencionales y 170 automáticas entre hidrológicas y meteorológicas.

También el Instituto recurre a la información que proveen los satélites Goes 16 y Goes 17. Con estas estaciones los técnicos corroboran los datos de las imágenes satelitales que se procesan en tiempo real, y desarrollan filtros de proyección numérica.



Ilustración 7: Mapa de estaciones meteorológicas automáticas 2017.

Fuente: (INAMHI, 2017).

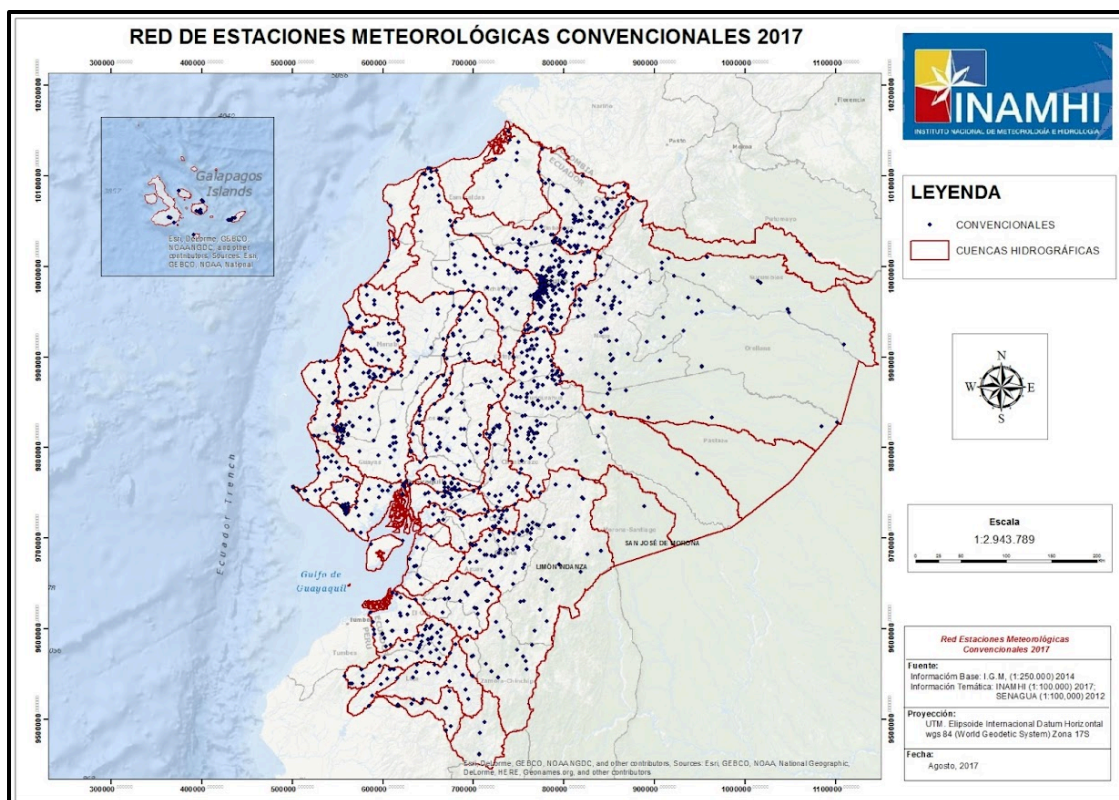


Ilustración 8: Mapa de estaciones meteorológicas convencionales 2017

Fuente: (INAMHI, 2017).

En la ilustración 7 y 8 podemos observar la ubicación de las estaciones automáticas y convencionales del Ecuador durante el año 2017. Estas están estratégicamente distribuidas a lo largo del país donde se capturan datos meteorológicos.

2.4 Bases Metodológicas Modelos Matemáticos

2.4.1 Análisis Estadísticos.

En una serie de datos estadísticos de una estación hidrológica de medidas. Es indispensable resumir la gran cantidad de cifras en elementos sintéticos de la estación. El autor (Monsalve, 1996) busca definir una serie de (n) observaciones de valores individuales (x_i) con ($i \leq n$), desde los tres puntos de vista siguientes:

2.4.1.1 Valor Central o Dominante de la Serie

Media

La media aritmética se define como:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Mediana

Se define como el valor que divide las frecuencias de una distribución de probabilidades en partes iguales o, en otras palabras, es el valor que ocurre con una probabilidad del 50%. El mismo concepto es aplicable a una tabla de frecuencias de una serie de datos agrupados en clases o categorías.

La mediana, en problemas hidrológicos, es muchas veces la medida más conveniente de la tendencia central porque no se ve afectada por valores extremos.

Moda

Es el valor que ocurre con mayor frecuencia en una distribución de probabilidades, o en una tabla de frecuencia de una serie de datos agrupados en clases o categorías.

2.4.1.2 Dispersión o Fluctuación de Observaciones Alrededor del Valor Central.

Desviación estándar

$$S = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}\right)} \quad (2)$$

Varianza

$$Var = S^2 \quad (3)$$

Rango

Diferencia entre los valores mayor y menor de la serie.

Coficiente de variación

$$C_v = S/\bar{X} \quad (4)$$

2.4.1.3 Características de Forma.

Se define por el coeficiente de oblicuidad. Este coeficiente da idea de la simetría de la distribución.

$$C_s = a/S^3 \quad (5)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3 \quad (6)$$

Donde:

$C_s = 0$: Distribución simétrica

$C_s > 0$: Distribución oblicua hacia la derecha

$C_s < 0$: Distribución oblicua hacia la izquierda

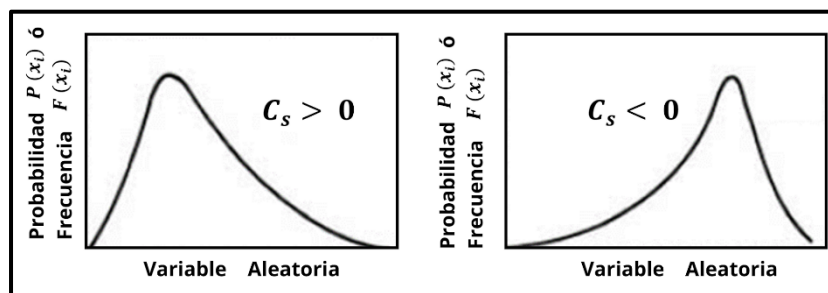


Ilustración 9: Coeficiente de oblicuidad de una distribución

Fuente: (Monsalve, 1996).

Variable aleatoria: se define como variable aleatoria (x) por medio de la cual sea posible definir una función $[P(x_i)]$ que, para cada valor real (x) que la variable aleatoria puede tomar, mida la probabilidad de que se verifiquen valores de (x) menos o al menos iguales a (x).

$$P(x \leq x_i) = P(x_i) \quad (7)$$

En general, y para no crear confusión, $[P(x) = P(x_i)]$, en donde $[P(x)]$ es el valor tomado por la función de distribución acumulativa o de repartición de la variable aleatoria, en correspondencia a un valor específico (x).

2.4.2 Estimación Datos Faltantes de Precipitación.

Muchas estaciones de precipitación tienen periodos faltantes en sus registros, debido a que el observador se ausenta, o a fallas instrumentales. A menudo es necesario estimar algunos de estos valores faltantes. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1958).

2.4.2.1 Método de Weather Bureau.

(Linsley, Kohler, & Paulus, 1958) explican sobre dos métodos que son utilizados por National Weather Service:

Método A: Si la precipitación normal anual en cualquiera de las estaciones índice difiere de aquella de la estación en cuestión en más de 10%, es

preferible utilizar el método de la razón normal; en este método, las cantidades de las estaciones índice son ponderadas mediante relaciones entre los valores de precipitación normal anual. Es decir, la precipitación (P_x) en la estación (X) será igual a:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right) \quad (8)$$

Donde:

N = Precipitación anual.

Este método menciona que la precipitación en un punto se calcula como un promedio ponderado de las observaciones de cuatro estaciones cercanas, ubicadas en cuadrantes definidos por líneas norte-sur y este-oeste. Cada estación más cercana en su cuadrante recibe un peso que es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia al punto de interés. La precipitación estimada se obtiene multiplicando las precipitaciones observadas en cada estación por sus pesos correspondientes, sumando estos valores y dividiendo por la suma de los pesos. Si faltan estaciones en uno o más cuadrantes, se utilizan datos de los cuadrantes disponibles.

Método B: El otro método indica que; las cantidades de precipitación se estiman a partir de las observaciones realizadas en tres estaciones cercanas, espaciales en lo posible, y situadas uniformemente alrededor de las estaciones cuyo registro no existe. Si la precipitación normal anual de cada una de las estaciones índice está dentro de un 10% de las estaciones índice da estimativo adecuado.

2.4.2.2 Método del U.S. National Weather Service.

(Campos Aranda D. , 1998) señala que este procedimiento ha sido verificado tanto teórico como empíricamente, donde se consideran los datos faltantes de una estación, la cual pueden ser estimadas mediante los datos observados de estaciones cercanas.

El método consiste en ponderar los valores observados en una cantidad W , igual al recíproco del cuadrado de la distancia D entre cada estación cercana y la estación escogida para hallar datos como se muestra en la ilustración 10.

$$P_x = \frac{\sum (P_i * W_i)}{\sum W_i} \quad (9)$$

Donde:

P_i = precipitación observada para la fecha de la faltante, mínimo 2 estaciones, los datos en mm.

W_i = es $1/D^2$, donde D es la distancia entre la estación con dato faltante y la estación circundante, esta medido en Km.

Para obtener mejores resultados en la estimación de datos faltantes, en este método se recomienda utilizar 4 estaciones cercanas, teniendo un rango mínimo de 50 km y máximo de 100 km de distancia entre ellas, para obtener mejores resultados en el dato faltante.

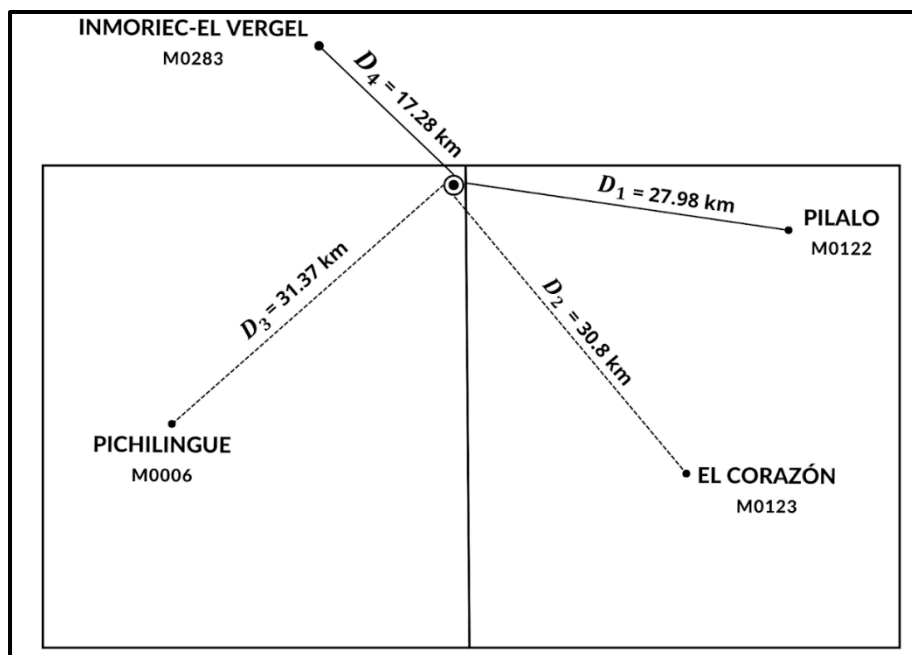


Ilustración 10: Aplicación del método U.S. para la estación M0124

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

2.4.2.3 Método de Regresión Lineal.

(Chereque Morán, 1981) aclara, que para llevar una mejor comprensión del tema se designa como “y” a la estación con datos incompletos y con “x” a la estación índice.

Este método consiste en los siguiente:

- Dibujar el diagrama de dispersión (puntos de coordenadas x, y);
- Ajustar una recta a ese diagrama de dispersión;

- Esta recta, llamada “línea de regresión”, se usa para completar la información faltante en y .

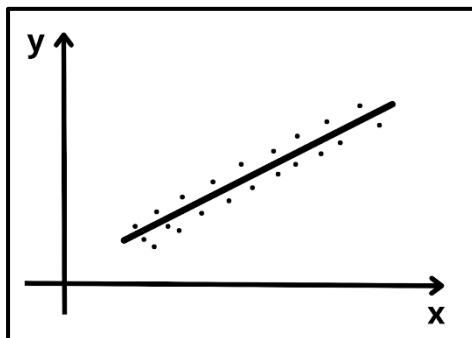


Ilustración 11: Recta regresión lineal

Fuente: (Chereque Morán, 1981)

Cuando hay varias estaciones índices surge la interrogante de cuál de ellas utilizar. La respuesta la encontramos en la estadística: de varias estaciones índice la mejor correlacionada con las estaciones incompleta es la de mejor coeficiente de correlación (r).

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n - 1)S_x \cdot S_y} \quad (10)$$

Donde:

n = número de pares de datos conocidos = número de datos de y ,

\bar{x} = media aritmética de los datos de x que forman parejas con los de y ;

\bar{y} = media aritmética de todos los datos de y ;

S_x = desviación estándar para todos los datos de x que formen parejas con los de y ;

S_y ... desviación estándar para todos los datos de y .

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (11)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (12)$$

Los valores de r varían de -1 a $+1$

$r = 0$: Significa que no existe ningún grado de asociación en los valores de x y los valores de y (correlación nula).

$r = 1$: Significa que los puntos del diagrama de dispersión se alinean en una recta de pendiente positiva (correlación directa óptima).

$r = -1$: significa que los puntos del diagrama de dispersión se alinean en una recta de pendiente negativa (correlación inversa óptima).

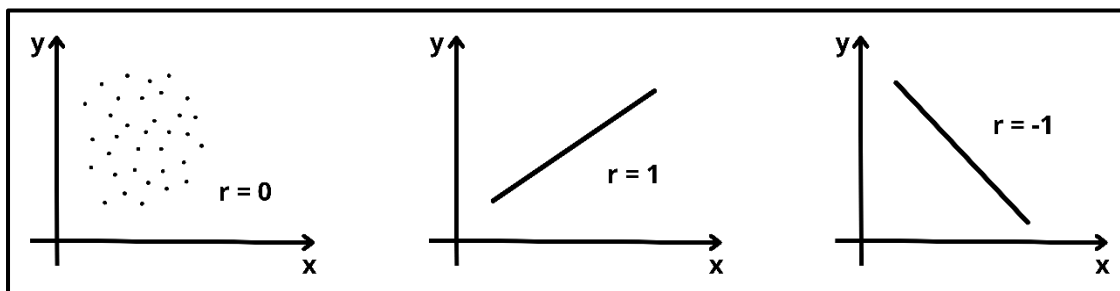


Ilustración 12: Valores de r que varían de -1 a +1

Fuente: (Chereque Morán, 1981)

En el caso presente de precipitación anuales, la experiencia indica que la correlación es directa y entonces la ecuación de la recta de regresión es:

$$y' = \alpha + \beta x \quad (13)$$

La letra y con índice (y') se emplea para referirse a los valores derivados de la recta de regresión.

Los valores de los coeficientes α y β se hallan generalmente con la teoría de los mínimos cuadrados.

En vez de esta ecuación $y' = \alpha + \beta x$ se prefiere usar:

$$y' = a + b(x - \bar{x}) \quad (14)$$

Siempre con la teoría de mínimos cuadrados se halla:

$$a = \bar{y} \quad (15)$$

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x})y}{\sum(x - \bar{x})^2} = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \quad (16)$$

Se demuestra también que: $b = r \frac{S_y}{S_x}$

Siendo r , como antes, el coeficiente de correlación.

2.4.3 Datos Atípicos.

Los valores atípicos, se puede encontrar en los extremos de una distribución de frecuencia, son valores que no provienen de una misma muestra o de una población. Esto se refleja cuando uno o más puntos de estos datos no siguen una misma tendencia. El libro (Harlan H, 2002) explica a cerca del método publicado en el boletín 17 B por la USGS (United States Geological Survey). Este indica criterios basados en una prueba unilateral para detectar valores atípicos con un nivel de significancia del 10%.

Estos criterios son los siguientes:

- Si la asimetría de la estación es mayor que 0.4, primero se consideran los valores atípicos bajos.
- Si es menor que -0.4, primero se consideran los valores atípicos altos.
- Si la asimetría de la estación esta entre ± 0.4 , se prueban tanto los valores atípicos altos como los bajo, antes de eliminar cualquier dato.

La detección de valores atípicos altos y bajos se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$Y_H = \bar{Y} + K_N S_Y \quad (17)$$

$$Y_L = \bar{Y} - K_N S_Y \quad (18)$$

Donde:

Y_H, Y_L = logaritmo del límite del valor atípico alto o bajo.

\bar{Y} = media del logaritmo de la muestra.

S_Y = desviación estándar de la muestra

K_N = desviación crítica, la cual depende del número de datos. (encontrados en la Tabla 3).

Tabla 3: Prueba de valores atípicos (K_N) al nivel de significancia del 10%

SAMPLE SIZE	K_N VALUE	SAMPLE SIZE	K_N VALUE	SAMPLE SIZE	K_N VALUE	SAMPLE SIZE	K_N VALUE
10	2,036	45	2,727	80	2,940	115	3,064
11	2,088	46	2,736	81	2,945	116	3,067
12	2,134	47	2,744	82	2,949	117	3,070
13	2,165	48	2,753	83	2,953	118	3,073
14	2,213	49	2,760	84	2,957	119	3,075
15	2,247	50	2,768	85	2,961	120	3,078
16	2,279	53	2,775	86	2,966	121	3,081
17	2,309	52	2,783	87	2,970	122	3,083
18	2,335	53	2,790	88	2,973	123	3,086
19	2,361	54	2,798	89	2,977	124	3,089
20	2,385	55	2,804	90	2,989	125	3,092
21	2,408	56	2,811	91	2,984	126	3,095
22	2,429	57	2,818	92	2,989	127	3,097

23	2,448	58	2,824	93	2,993	128	3,100
24	2,467	59	2,831	94	2,996	129	3,102
25	2,487	60	2,837	95	3,000	130	3,104
26	2,502	61	2,842	96	3,003	131	3,107
27	2,510	62	2,849	97	3,006	132	3,109
28	2,534	63	2,854	98	3,011	133	3,112
29	2,549	64	2,860	99	3,014	134	3,114
30	2,563	65	2,866	100	3,017	135	3,116
31	2,577	66	2,871	101	3,021	136	3,119
32	2,591	67	2,877	102	3,024	137	3,122
33	2,604	68	2,883	103	3,027	138	3,124
34	2,616	69	2,888	104	3,030	139	3,126
35	2,628	70	2,893	105	3,033	140	3,129
36	2,639	71	2,897	106	3,037	141	3,131
37	2,650	72	2,903	107	3,040	142	3,133
38	2,661	73	2,908	108	3,043	143	3,135
39	2,671	74	2,912	109	3,046	144	3,138
40	2,682	75	2,917	110	3,049	145	3,140
41	2,692	76	2,922	111	3,052	146	3,142
42	2,700	77	2,927	112	3,055	147	3,144
43	2,710	78	2,931	113	3,058	148	3,146
44	2,720	79	2,935	114	3,061	149	3,148

Fuente: (Harlan H, 2002)

Si se encuentran que la muestra contiene valores atípico-altos, los picos de caudal deben verificarse con otras fuentes de datos históricos y datos de estaciones cercanas. La USGS recomienda que los valores atípicos altos se ajusten con la información histórica, no debe descartarse a menos que se demuestre que la precipitación máxima contiene un error grave.

Para probar los valores atípicos bajos, se calcula el umbral del valor atípico bajo Y_L y se calcula la precipitación máxima $X_L = 10^{Y_L}$ si alguna precipitación máxima es menor a X_L , se considera que son valores atípicos bajos y deben ser eliminados de la muestra.

2.4.4 Distribuciones de Probabilidad.

Una distribución de probabilidad según (Chow, Maidment, & Larry, 1994) es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados.

En este inciso se presenta los siguientes conceptos extraídos del libro de (Chow, Maidment, & Larry, 1994) sobre las distribuciones de probabilidad comúnmente utilizadas en variables hidrológicas, y las que pueden ser de ayuda en este estudios, además en la tabla 3 se muestra las ecuaciones de una manera más sintetizada para cada distribución según la función de densidad de probabilidad y rango de las variables, junto a ecuaciones para estimar parámetros de la distribución a partir de los momentos de la muestra.

Tabla 4: Distribución de probabilidad para ajuste de información hidrológica.

DISTRIBUCIÓN	FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD	RANGO	ECUACIONES DE LOS PARÁMETROS EN TÉRMINOS DE LOS MOMENTOS DE LA MUESTRA
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$-\infty \leq x \leq \infty$	$\mu = \bar{x}, \sigma = s_x$
Lognormal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$ <i>donde</i> $y = \log x$	$x > 0$	$\mu = \bar{y}, \sigma_y = s_y$
Exponencial	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$x \geq 0$	$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$

Gamma	$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)}$ <p>Donde Γ = función gamma</p>	$x \geq 0$	$\lambda = \frac{\bar{x}}{s_x^2}$ $\beta = \frac{\bar{x}^2}{s_x^2} = \frac{1}{CV^2}$
Person tipo III (gamma de tres parámetros)	$f(x) = \frac{\lambda^\beta (x - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(x-\epsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	$x \geq \epsilon$	$\lambda = \frac{s_x}{\sqrt{\beta}}, \beta = \left(\frac{2}{C_s}\right)^2$ $\epsilon = \bar{x} - s_x \sqrt{\beta}$
Log Person tipo III	$f(x) = \frac{\lambda^\beta (x - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(x-\epsilon)}}{x\Gamma(\beta)}$ <p>Donde $y = \log x$</p>	$\log x \geq \epsilon$	$\lambda = \frac{s_x}{\sqrt{\beta}}$ $\beta = \left[\frac{2}{c_s(y)}\right]^2$ $\epsilon = \bar{y} - s_y \sqrt{\beta}$ <p>Suponiendo que $c_s(y)$ es positivo</p>
Valores extremos tipo I	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}\right] - \exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)$	$-\infty < x$ $< \infty$	$\alpha = \frac{\sqrt{6s_x}}{\pi}$ $u = \bar{x} - 0.5772 \alpha$

Fuente: (Chow, Maidment, & Larry, 1994).

2.4.4.1 Distribución Normal.

Esta distribución surge del teorema del límite central afirma que la suma de muchas variables aleatorias independientes, con la misma distribución, se aproxima a una distribución normal conforme aumenta el número de variables.

2.4.4.1.1 Teorema del Límite Central.

Si \bar{X} es la media de una muestra aleatoria de tamaño n , tomada de una población con media μ y la varianza finita σ^2 , entonces la forma límite de a distribución de:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (19)$$

A medida que $n \rightarrow \infty$, es la distribución normal estándar (z ; 0,1).

La aproximación normal para \bar{X} por lo general será buena si $n \geq 30$, siempre y cuando la distribución de la población no sea muy asimétrica. Si $n < 30$, la aproximación será buena solo si la población no es muy diferente de una distribución normal y de \bar{X} seguirá siendo una distribución normal exacta, sin importar que tan pequeño sea el tamaño de las muestras.

El tamaño de la muestra $n = 30$, es un lineamiento para el teorema del límite central. Sin embargo, como indica el planteamiento del teorema, la suposición de normalidad en la distribución de \bar{X} se vuelve mas precisa a medida que n se hace mas grande.

En la Ilustración 12 se puede observar cómo funciona el teorema, nos indica que como la distribución de \bar{X} se acerca mas a la normalidad de medida que aumenta n , empezando con la distribución claramente asimétrica de una observación individual ($n = 1$). También ilustra que la media de \bar{X} sigue siendo μ para cualquier tamaño de la muestra y que la varianza de \bar{X} se vuelve mas pequeña a medida que aumenta n . (Walpole, Myers, & Myers, 2012).

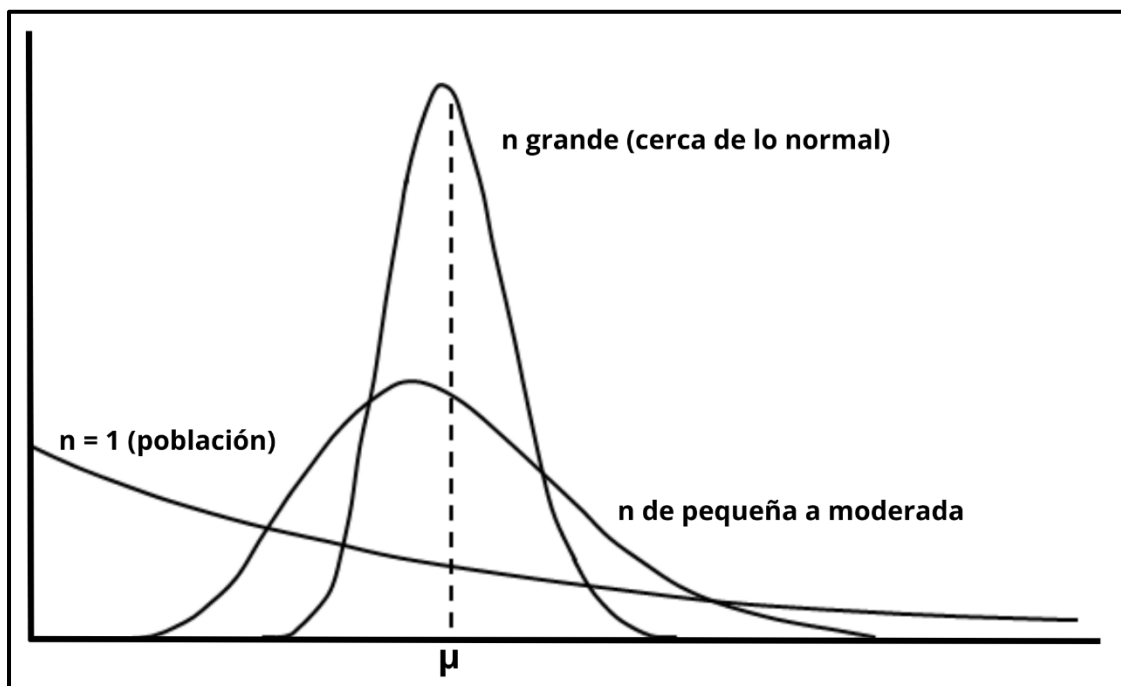


Ilustración 13: Teorema de límite central

Fuente: (Walpole, Myers, & Myers, 2012)

2.4.4.2 Distribución Lognormal.

La variable aleatoria $Y = \log x$ esta normalmente distribuida, entonces se dice que X será distribuida en forma lognormal. El autor llego a la conclusión de que esta distribución se aplica a variables hidrológicas formadas como productos de otras variables.

2.4.4.3 Distribución Exponencial.

Algunas secuencias de eventos hidrológicos, como la de ocurrencia de precipitación, puede considerarse como procesos de Poisson, en los cuales los eventos ocurren instantánea e independientemente en un horizonte de tiempo, o a lo largo de una línea. esta distribución es útil para describir flujos de contaminantes durante las lluvias. La ventaja de esta distribución es la fácil estimación de λ y su uso en modelos teóricos. Sin embargo, la independencia total de eventos es una limitación, lo que ha llevado al estudio de procesos de Poisson compuesto.

2.4.4.4 Distribución Gamma.

Es la distribución en la cual es la suma de las variables independientes e idénticas, distribuidas exponencialmente. Es muy útil para descripción de variables hidrológicas asimétricas sin el uso de la transformación log. Se ha aplicado a la descripción de la distribución de profundidades de la precipitación en tormentas.

2.4.4.5 Distribución Pearson Tipo III.

Esta distribución también llamada gamma de tres parámetros, introduce un tercer parámetro el límite inferior (ϵ), de tal manera que, por el método de los momentos, de los tres momentos de la muestra (la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría) pueden transformarse en los tres parámetros λ, β y ϵ de la distribución de probabilidad.

2.4.4.6 Distribución Log Pearson Tipo III.

Si $\text{Log } X$ sigue una distribución Pearson tipo III, entonces se dice que X sigue una distribución log-Pearson Tipo III.

La localización del límite de ϵ en la distribución log-Pearson tipo III depende de la asimetría de la información. Si esta tiene asimetría positiva. Entonces

$\log x \geq \epsilon$ y ϵ es un límite inferior, mientras que, si la información tiene asimetría negativa, $\log X \leq \epsilon$ y ϵ es un límite superior.

2.4.4.7 Distribución del Valor Extremo.

Son valores máximos y mínimos seleccionados de conjuntos de datos. Por ejemplo, el caudal máximo anual en un lugar dado es el mayor caudal registrado durante un año y los valores de caudal máximo anual para cada año de registro histórico conforman un conjunto de valores extremos que puede analizarse estadísticamente.

Las distribuciones de valores extremos (*VE*) ejemplifican los intentos para deducir sobre una base puramente teórica cómo se distribuyen las crecientes y precipitaciones máximas anuales.

Existe una familia de distribuciones de *VE*, cada miembro caracterizado por su parámetro de forma k ; su ecuación general se denomina distribución General de Valores Extremos (*GVE*), cuya solución inversa es:

$$X = u + \frac{\alpha}{k} [1 - \exp(-ky)] \quad (20)$$

Siendo X la variable que se estima probabilísticamente, u el parámetro de ubicación, con unidades idénticas a X , α es el parámetro de escala, k el de forma, y la variable reducida de Gumbel función de la probabilidad de no excedencia con la expresión siguiente:

$$y = -\ln[-\ln F(x)] = -\ln[-\ln(1 - 1/Tr)] \quad (21)$$

Las tres familias de distribuciones de *VE* se definen de acuerdo con el signo del parámetro k de la manera siguiente:

$k = 0$: distribución Fisher–Tippett Tipo I, de Gumbel o VE1, es una familia de rectas en el papel Gumbel–Powell con la expresión: $X = u + \alpha y$.

$k < 0$: distribución Fisher–Tippett Tipo II, de Fréchet, log–Gumbel o VE2, es una familia de curvas con concavidad hacia arriba en el papel Gumbel–Powell y frontera inferior en $X = u - \alpha / k$.

$k > 0$: distribución Fisher–Tippett Tipo III, de Weibull o VE3, es una familia de curvas de concavidad hacia abajo en el papel Gumbel–Powell y frontera superior en $X = u + \alpha / k$.

Los procedimientos de ajuste de la distribución *GVE* a una muestra estiman automáticamente su tipo a través de la magnitud de k , utilizándose actualmente cinco métodos: momentos, sextiles, momentos L , máxima verosimilitud y optimización de una función objetivo. (Campos, 2010).

2.4.5 Período de Retorno.

Se puede establecer que si un evento hidrológico X igual o mayor que x ocurre una vez en promedio en un lapso de Tr años, entonces el cociente $1/Tr$ corresponderá a su probabilidad de excedencia $P(X > x)$. Lo anterior define el período de retorno, como un intervalo de recurrencia o de repetición promedio en años, como el inverso de la probabilidad de excedencia, o bien como el inverso de uno menos la probabilidad de no excedencia. Lo que quiere. (Campos, 2010).

El autor quiere decir que el periodo de retorno es la medida estadística para describir con qué frecuencia se espera que ocurra un evento hidrológico de una cierta magnitud.

La ecuación queda de la siguiente manera:

$$Tr = \frac{1}{P(X > x)} \quad (22)$$

Y relacionado con la probabilidad de no excedencia $P(X \leq x)$ con el periodo de retorno:

$$Tr = \frac{1}{1 - P(X \leq x)} \quad (23)$$

En la siguiente tabla se muestra la relación entre la probabilidad de no excedencia, la probabilidad de excedencia y periodo de retorno Tr :

Tabla 5: Probabilidad y periodo de retorno usados en análisis probabilístico

$P(X \leq x)$	$P(X > x)$	$Tr(\text{AÑOS})$
0.0100	0.9900	1.010
0.0500	0.9500	1.053
0.1000	0.9000	1.111
0.2000	0.8000	1.250
0.5000	0.5000	2
0.8000	0.2000	5
0.9000	0.1000	10
0.9500	0.0500	20
0.9600	0.0400	25
0.9800	0.0200	50
0.9900	0.0100	100
0.9980	0.0020	500
0.9990	0.0010	1,000
0.9998	0.0002	5,000
0.9999	0.0001	10,000

Fuente: (Campos, 2010)

El periodo de retorno es una forma de expresar la probabilidad de excedencia, por ello se dice la lluvia o intensidad de 10 años o la creciente de 100 años en lugar de decir, los eventos cuyas probabilidades de excedencia son 10 y 1% en cada año, correspondiendo a las posibilidades de 1 en 10 y 1 en 100. El periodo de retorno no significa que un evento de Tr años ocurrirá cada Tr años, sino que mas bien existe una probabilidad de $1/Tr$ de que tal evento ocurra en cada año.

En este estudio se tomarán los siguientes periodos de retorno en años:

Tabla 6: Periodo de retorno en años.

PERIODOS DE RETORNO (AÑOS)									
2	5	10	25	50	100	150	200	300	500

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

2.4.6 Pruebas de Bondad de Ajuste.

Las pruebas de bondad de ajuste describen lo bien que se ajusta una serie de datos de una variable aleatoria a una distribución estadística, a través de la medición de la diferencia de los valores observados y los valores esperados según el modelo estadístico. (Hernández, 2019).

Una prueba de bondad de ajuste debe ser útil para discriminar entre diferentes modelos probabilísticos ajustados a una sola muestra. Lo anterior significa, que, si un único registro de datos hidrológicos está disponible, habrá una prueba de bondad de ajuste calculadora para cada distribución de probabilidades propuesta que conduzca a un valor óptimo, y entonces tal distribución será la adoptada (Campos Aranda D. , 2006).

2.4.6.1 Test o Prueba de Kolmogórov Smirnov.

(Hernández, 2019) expone que La prueba de Kolmogórov-Smirnov es una prueba no paramétrica que se emplea para establecer si una serie de datos proviene de una distribución específica.

Las hipótesis por contrastar son:

H₀: (Hipótesis nula) es decir que los datos analizados se ajustan a la distribución estudiada.

H₁: (Hipótesis alternativa), es decir que los datos analizados no se ajustan a la distribución estudiada.

El estadístico de contraste es el mayor valor absoluto de la diferencia entre la frecuencia acumulada observada y la frecuencia acumulada teórica.

$$|D_n| = \text{Máx} |F_n(x_i) - F_o(x_i)| \quad (24)$$

Donde:

x_i = es el valor *i*-ésimo observado

$F_n(x_i)$ = es el estimador de probabilidad de observar valores menores o iguales a *x_i*.

$F_o(x_i)$ = es la probabilidad de observar valores menores o iguales a *x_i*, en caso de que *H₀* sea cierta.

Si **$D < d$** de la tabla, se acepta el ajuste con el nivel de significación establecido.

2.4.7 Regresión Lineal Múltiple.

Según el libro de (warren Viessman & Gary Lewis, 2018) El modelo lineal con tres variables, donde y es la variables dependiente y x_1 y x_2 son las variables independientes, tiene la forma:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (25)$$

Las ecuaciones normales son:

$$\sum y = na + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 \quad (26)$$

$$\sum yx_1 = a \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1x_2 \quad (27)$$

$$\sum yx_2 = a \sum x_2 + b_1 \sum x_1x_2 + b_2 \sum x_2^2 \quad (28)$$

El cuadrado del error estándar de estimación es:

$$s_e^2 = \frac{1}{n-3} \sum (y_1 - \bar{y}_i)^2 \quad (29)$$

Donde:

y_1 = son los valores observados

\bar{y}_i = son los valores predichos en la ecuación 25

El coeficiente de correlación múltiple es:

$$R = \left(1 - \frac{s_e^2}{s_y^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

De esta fórmula se deduce de la siguiente manera:

$$R = \sqrt{1 - \frac{SSE}{SST}} \quad (31)$$

Donde:

SSE = es la suma de los errores cuadrados de estimación

SST = es la suma total de los cuadrados.

2.4.7 Curvas de Intensidad Duración Frecuencia.

La intensidad de las tormentas decrece con su duración. Para una tormenta de cualquier duración se tendrá mayor intensidad a mayor período de retorno. Las relaciones entre intensidad frecuencia y duración se representan por las llamadas curvas de intensidad-frecuencia-duración. (Vélez Otálvaro, 2000).

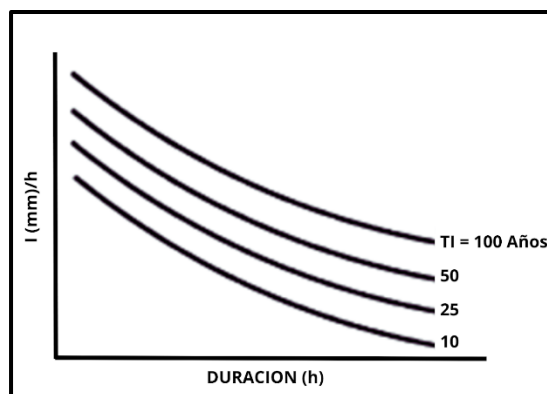


Ilustración 14: Curvas IDF

Fuente: (Vélez Otálvaro, 2000)

Según la (INAMHI, 2015) después de determinar las intensidades máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno se aplica logaritmo a cada valor de intensidad máxima y se procede a graficar estos valores obteniéndose las curvas de intensidad-duración-Frecuencia, en las cuales cada quiebre representa una ecuación.

La ecuación general de la determinación de las intensidades máxima llamada también ecuación tipo:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad (32)$$

Donde:

I = Intensidad (mm/h)

T = Periodo de retorno (años)

t = Tiempo de duración (minutos)

k, m, n = constantes de ajuste propias de cada estación

2.4.8 Regionalización.

Se emplea la regionalización para obtener información hidrológica en sitios sin datos o con poca información. El principio de la regionalización es la similitud espacial de algunas funciones, variables y parámetros que permiten esa transferencia. Un beneficio adicional del análisis regional de la información es su contribución al mejoramiento de una red de observaciones de datos hidroclimáticos, a medida que la metodología explora la información disponible e identifica vacíos. (Zucarelli, 2017).

2.4.9 Kriging.

Los métodos geoestadísticos como kriging se basan en modelos estadísticos que consideran la autocorrelación espacial, es decir, como se relacionan los valores de los puntos en función de su distancia y dirección. Kriging no solo produce una superficie de predicción, sino que también proporciona una medida de la precisión de esas predicciones.

El proceso de kriging incluye varios pasos: análisis estadísticos de los datos, modelado de variogramas, creación de la superficie y opcionalmente, evaluación de la varianza de la superficie. Este método es especialmente útil cuando existe una correlación espacial direccional en los datos, y se emplea frecuentemente en campos como la ciencia del suelo y la geología (Escrí).

2.4.9.1 Kriging Ordinario.

El Kriging ordinario es el más general y utilizado de los métodos de Kriging y es el predeterminado. Presupone que el valor medio constante es desconocido. Esa es una presuposición razonable a menos que haya una razón científica para rechazarla.

2.4.10 Interpolación con la Distancia Inversa Pondera.

La interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) supone explícitamente que los elementos cercanos entre si son más parecidos que los que están más alejados. Para predecir un valor para cualquier ubicación sin medición, IDW usa los valores medidos que rodean a la ubicación de predicción. Los valores medidos más cercanos a la ubicación de predicción tienen más influencia en el valor predicho que los que están más alejados. IDW supone que cada punto medido tiene una influencia local que disminuye con la distancia. Otorga ponderaciones más altas a los puntos más cercanos a la ubicación de predicción y las ponderaciones disminuyen como una función de distancia (de ahí el nombre de distancia inversa ponderada). Las ponderaciones asignadas a los puntos de datos se ilustran en el siguiente ejemplo mostrada en la ilustración 16.

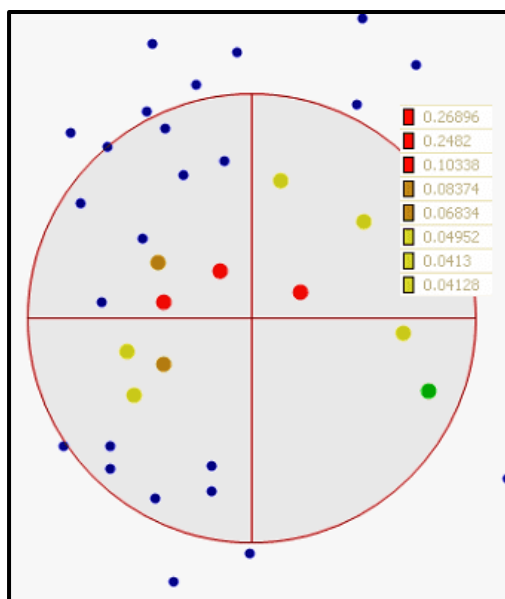


Ilustración 15: Vecindad de búsqueda

Fuente: (ESCRI, 2024)

La ventana ponderaciones contiene la lista de ponderaciones asignadas a cada punto de datos que se utilizan para general un valor predicho en la ubicación marcada por el punto de mira (ESCRI, 2024)

Este método de interpolación se define por la siguiente ecuación:

$$z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{d_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} \right)} \quad (33)$$

Donde:

z_p = valor interpolado en el punto p .

p = exponente que determina el peso de la distancia en la interpolación.

n = número total de puntos utilizados en la interpolación.

z_i = valor en el punto i

d_i = distancia desde el punto p al punto i .

La notación sigma simplemente significa que usted está agregando cualquier número de puntos que serán interpolados. Aquí simplemente se están sumando los valores de elevación en cada punto con respecto a la distancia.

Un número más pequeño en el denominador (más distancia) tiene menos efecto sobre el valor interpolado X_p por lo que nunca se tendrá valores por encima o por debajo de los valores máximo y mínimos conocidos. (ArcGeek, 2018).

2.4.11 Error Relativo.

(Chapra & Canale, 2018) dice que; los errores numéricos surgen del uso de aproximaciones para representar operación y cantidades matemáticas exactas. Estas incluyen los errores de truncamiento que resultan del empleo de aproximaciones como un procedimiento matemáticos exacto, y los errores de redondeo que se producen cuando se usan números que tiene un límite de números exactos.

El error relativo se calcula dividiendo el error verdadero por el valor verdadero, y el error verdadero es la diferencia entre el valor verdadero y el valor aproximado.

La fórmula de error relativo es:

$$\mathbf{error\ relativo\ verdadero} = \frac{\mathbf{error\ verdadero}}{\mathbf{valor\ verdadero}} \quad (34)$$

Donde:

$$\mathbf{error\ verdadero} = \mathbf{valor\ verdadero} - \mathbf{valor\ aproximado}$$

El error relativo también se puede multiplicar por 100% para expresarlo como porcentaje.

$$\begin{aligned} \mathbf{error\ relativo\ verdadero} \\ = \frac{\mathbf{error\ verdadero}}{\mathbf{valor\ verdadero}} \times 100\% \end{aligned} \quad (35)$$

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3.1 Hipótesis

Los modelos matemáticos y métodos de interpolación utilizados en este estudio han logrado obtener de manera adecuada las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) y la regionalización en las Provincias de Santo Domingo de Los Tsáchilas y Esmeraldas.

3.2 Variables

Las variables que son utilizadas en el estudio de regionalización de curvas IDF en las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas son cuantitativas discretas o continuas, y estas se dividen en independientes y dependientes.

3.2.1 Variables Independientes.

A: Datos de precipitación

B: Modelos matemáticos

3.2.2 Variables dependientes.

A: curvas IDF

3.3 Operacionalización de Variables

Tabla 7: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	MEDIDA	RANGO DE VARIABILIDAD
Datos de precipitación	Cantidad de lluvia en mm, durante el periodo de tiempo de un mes.	Pluviómetro, el cual registra la cantidad de lluvia en mm.	mm	0-1600
Modelos matemáticos	Métodos estadísticos o de modelado utilizados para analizar datos de precipitación y generar la curva IDF.	Softwares estadísticos, fuentes de libros de hidrología estadística.	Mm/h	0-200
Curvas IDF	Relación entre intensidad de la precipitación, duración y periodo de retorno.	Resultado del análisis de datos de precipitación utilizando los modelos matemáticos.	Mm/h	0-200

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.4 Tipo de Estudio

El presente estudio se centra en el análisis de datos de precipitación máximas de 24 horas mediante la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF). La investigación implica la recolección y análisis estadístico de datos pluviométrico para obtener los parámetros necesarios y graficar las curvas IDF. En la interpolación espacial se utilizaron los métodos de

interpolación; IDW y la de Kriging Ordinary, lo cual facilitó la regionalización de los datos. Además, se utilizó dos tesis como referencia metodológica, la tesis de (Nuñez Neira & Corapi, 2022), el cual se le denomina proceso 1 y la de (Velasco Ramos & Garaicoa Velásquez, 2023) denominado proceso 2 aplicando sus enfoques, lo que llevó a resolver dos procesos distintos dentro del estudio.

3.5 Enfoque de la Investigación

El enfoque es cuantitativo, permite una medición precisa, la explicación de relaciones y la identificación de patrones generales en los datos de precipitación para las Provincias de Santo Domingo de Los Tsáchilas y Esmeraldas.

3.6 Población Muestra y Muestreo

El objetivo del estudio es comprender a los eventos de precipitación dados en las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Los Tsáchilas, donde se recolectó información de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro de las provincias y la de las áreas circundantes. Estos datos son proporcionados con precipitaciones máximas diarias (24 horas) registrados entre los años de 1971 y 2013. Datos que fueron extraídos de los anuarios publicados del Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología (INAMHI).

3.7 Métodos Técnicas e Instrumentos

Los datos recolectados inicialmente se han compilado en el programa de Microsoft Excel, donde se podrá calcular y obtener mediante técnicas estadísticas las curvas IDF a partir de las precipitaciones máximas diarias, además para el cálculo se utiliza el programa Hydrognomon el cual proporciona datos necesarios como los análisis de frecuencia y ajuste de distribución, facilitando la generación de las curvas IDF. Adicional se utilizó el programa Qgis que permite gestionar los datos geoespaciales y realizar las interpolaciones requeridas para el estudio, también ayuda a conocer las ubicaciones exactas de cada una de las estaciones estudiadas y facilita la creación de mapas.

3.8 Plan de Procesamiento y Análisis

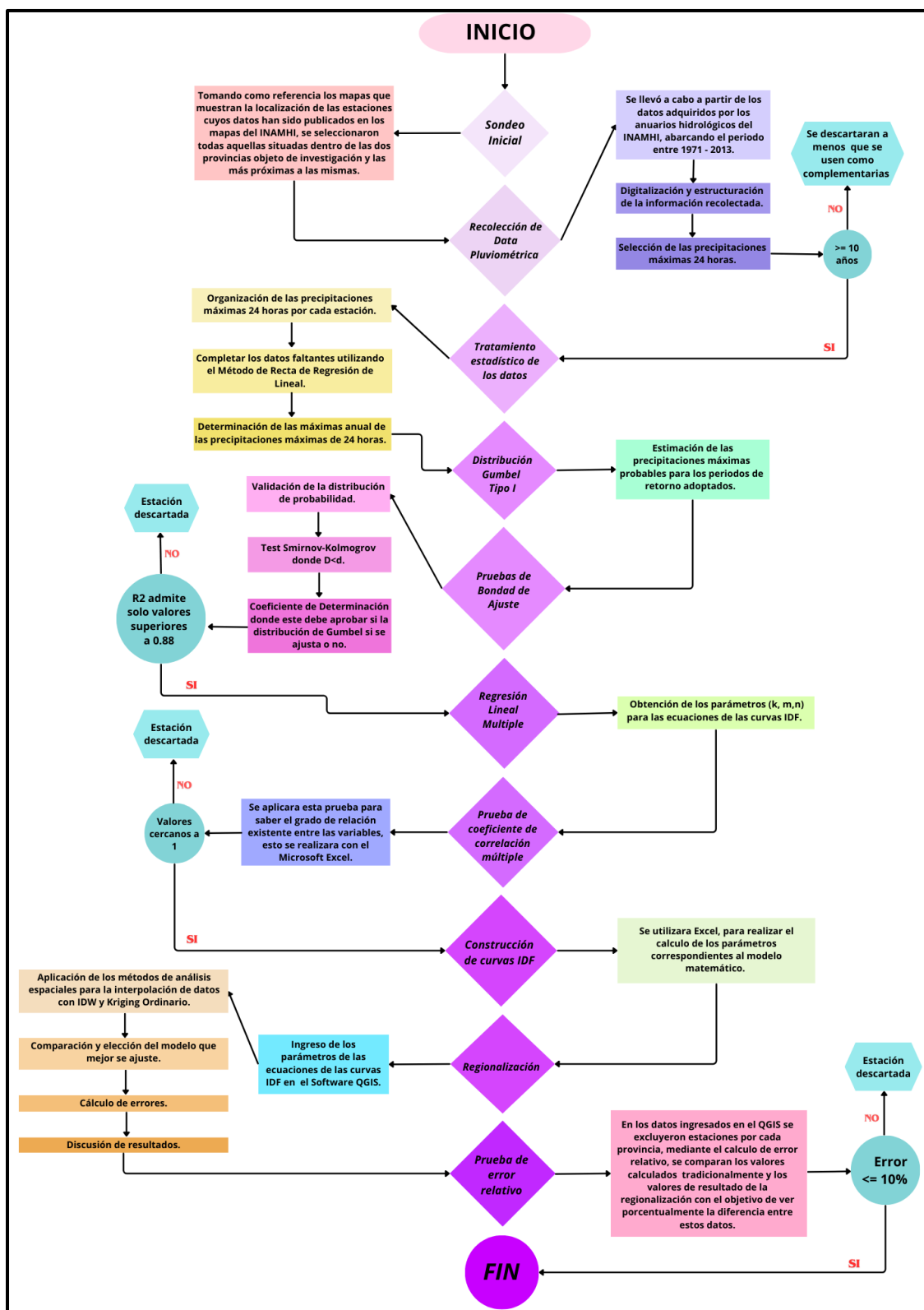


Ilustración 16: Diagrama de flujo de la metodología del Proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

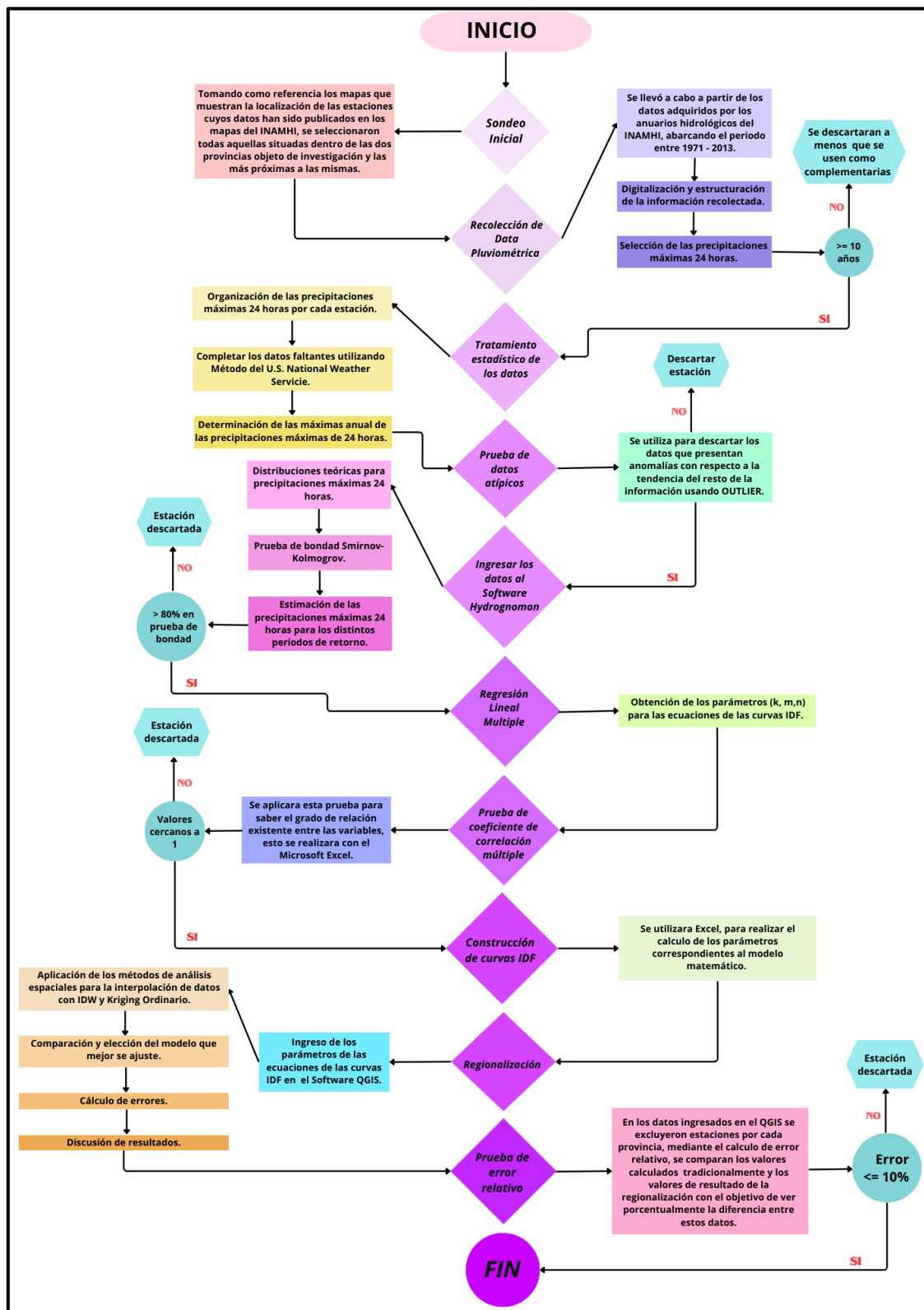


Ilustración 17: Diagrama de flujo de la metodología del Proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9 Metodología

3.9.1 Recopilación de Datos Pluviométricos.

Los datos recopilados en este estudio fueron fundamentales para la elaboración de las curvas IDF. Estos datos se obtuvieron de los anuarios del INAMHI, disponibles en su biblioteca virtual.

Biblioteca del INAMHI para obtener las precipitaciones máximas 24 horas <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>.

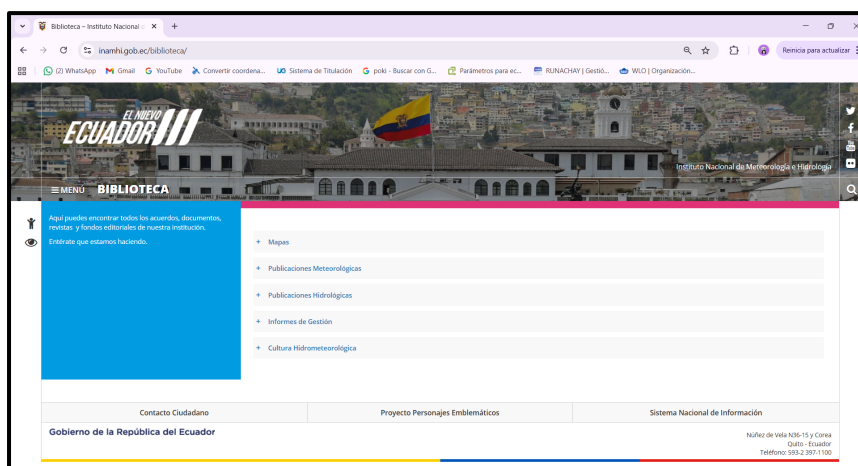


Ilustración 18: Captura de pantalla página virtual de la Biblioteca del INAMHI.

Fuente: (INAMHI, 2024)

M0025		LA CONCORDIA										INAMHI							
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación		
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	Mínima	Media			Suma	Máxima en 24hrs	día			
ENERO	36.4	31.0	3	21.1	16							28.0	22.1				24.2	100	9
FEBRERO	63.7	32.6	25	20.8	10	29.0	21.9	24.5	100	15	63	12	87	22.1	26.6	518.7	124.9	27	27
MARZO	82.5	32.7	25	21.8	19	29.8	22.7	25.2	100	3	64	25	88	22.9	27.9	566.7	117.8	27	27
ABRIL	89.2	33.5	14	21.4	29	29.6	22.6	25.2	99	6	62	14	88	22.9	27.9	582.2	125.2	19	27
MAYO	39.3	31.0	1	21.0	5	27.8	22.0	24.1	99	10	64	13	90	22.2	26.7	152.1	34.8	27	26
JUNIO	43.2	30.7	6	20.6	6	27.5	21.6	23.8	98	1	63	19	88	21.6	25.7	38.9	15.6	3	14
JULIO	69.8	30.5	9	19.4	26	27.4	20.6	23.3	99	19	67	31	86	20.8	24.5	30.3	14.9	5	11
AGOSTO	88.4	33.0	24	18.7	31	28.2	20.5	23.4					84	20.4	24.0	9.5	1.6	25	13
SEPTIEMBRE	61.0	33.1	26	18.7	5	29.0	20.6	24.0	98	22	56	26	82	20.6	24.3	7.1	1.5	28	12
OCTUBRE	63.1	33.1	7	19.9	4	28.6	21.0	24.0	98	12	55	3	83	20.8	24.6	26.6	15.7	27	14
NOVIEMBRE	65.7	33.0	29	18.4	9	28.7	20.9	23.9	98	21	52	27	82	20.5	24.1	7.2	1.6	3	8
DICIEMBRE	50.9	33.6	6	19.4	22	29.0	21.0	24.1	98	5	48	6	84	21.0	24.9	138.6	69.1	25	21
VALOR ANUAL	753.2	33.6		18.4		28.6	21.5	24.1					86	21.5	25.7	2770.6	125.2		

Ilustración 19: Anuario Meteorológico N° 53- 2013

Fuente: (INAMHI, 2024)

Mediante la visualización de los mapas de las estaciones meteorológicas del INAMHI ubicados en los anuarios, se consideró las estaciones dentro de las zonas de estudios y las estaciones cercanas a estas, con ayuda de estas estaciones, se llevó a cabo los procesos de estimación de datos y la de regionalización de las curvas IDF.

Estaciones primarias.

Tabla 8: Estaciones de la Provincia de Esmeraldas.

ESMERALDAS					
ESTACIONES	Nombre	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
Null	ESMERALDA - LA PROPICIA	0° 55' 0" N	79° 40' 0" W	23 msnm	7
M0025	LA CONCORDIA	0° 01' 29" S	79° 22' 49" W	379 msnm	43
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	0° 01' 29" S	79° 22' 49" W	7 msnm	14
M0153	MUISNE	0° 36' 34.6" N	80° 01' 15.2" W	5 msnm	33
M0154	CAYAPAS	0° 51' 44" N	78° 57' 2.7" W	55 msnm	40
M156	QUININDÉ	0° 19' 10" N	79° 28' 15.9" W	115 msnm	22
M0158	MÚTILE	0° 53' 0" N	79° 37' 03" W	25 msnm	9
M0224	SAN LORENZO	1° 16' 6" N	78° 50' 30" W	5 msnm	18
M0225	BORBÓN	1° 05' 0" N	79° 0' 0" W	20 msnm	11
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	0° 59' 25" N	79° 38' 47" W	6 msnm	14
M1248	EL CRISTAL	0° 50' 5" N	78° 28' 54" W	435 msnm	1
M1249	PALESEMA	1° 18' 21" N	78° 43' 54" W	45 msnm	1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 9: Estaciones de la Provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas.

SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS					
ESTACIONES	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
M0026	PUERTO ILA	0° 29' 34.1" S	79° 20' 56" W	319 msnm	43
M0027	SANTO DOMINGO	0° 14' 44" S	79° 12' 0" W	154 msnm	17

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Estaciones secundarias.

Tabla 10: Estaciones de la Provincia de Manabí.

MANABÍ					
ESTACIONES	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
M0160	EL CARMEN	0° 15' 35" S	79° 25' 37" W	250 msnm	27
M0162	CHONE - U. CATÓLICA	0° 39' 50.9" S	80° 2' 11.4" W	36 msnm	40
M0163	BOYACÁ	0° 34' 14.5" S	80° 10' 41.5" W	70 msnm	12
M0167	JAMA	0° 11' 49" S	80° 15' 53" W	5 msnm	13
M0168	PEDERNALES	0° 03' 50" N	80° 03' 0.8" W	22 msnm	15
M0623	PALMERAS UNIDAS (PALMAR)	0° 15' 53" S	79° 35' 48" W	460 msnm	7

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 11: Estaciones de la Provincia de Los Ríos.

LOS RÍOS					
ESTACIONES	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
M0006	PICHILINGUE	1° 6' 0" S	79° 27' 42" W	120 msnm	43
M0283	INMORIEC-EL VERGEL	0° 47' 55" S	79° 21' 6" W	158 msnm	13

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 12: Estaciones de la Provincia de Cotopaxi.

COTOPAXI					
ESTACIONES	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
M0122	PÍLALO	0° 56' 50" S	78° 59' 42" W	2504 msnm	31
M0123	EL CORAZÓN	1° 8' 6.4" S	79° 4' 54.8" W	1471 msnm	42
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	0° 54' 59" S	79° 14' 44" W	215 msnm	39
M0362	LAS PAMPAS	0° 25' 32" S	78° 57' 54" W	1583 msnm	9

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 13: Estaciones de la Provincia de Pichincha.

PICHINCHA					
ESTACIONES	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
M0002	LA TOLA	0° 13' 54.5" S	78° 22' 13.4" W	2480 msnm	34
M0009	LA VICTORIA INERHI	0° 3' 36" S	78° 19' 23" W	2262 msnm	16
M0022	TABACUNDO	0° 3' 0" N	78° 14' 06" W	2955 msnm	16
M0024	QUITO INAMHI - IÑA QUITO	0° 10' 41.9" S	78° 29' 15.7" W	2789 msnm	38
M0055	QUITO AEROPUERTO - PARQUE BICENTENARIO	0° 8' 24" S	78° 29' 6" W	2794 msnm	16
M0116	CHIRIBOGA	0° 13' 49" S	78° 45' 28" W	1750 msnm	13
M1094	TOMALON - TABACUNDO	0° 0' 40.2" N	78° 15' 18.2" W	2790 msnm	24

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 14: Estaciones de la Provincia de Carchi.

CARCHI					
ESTACIONES	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
M0086	SAN VICENTE DE PUSIR	0° 29' 39" N	78° 02' 29" W	1891 msnm	5
M0102	EL ÁNGEL	0° 37' 8" N	77° 56' 41.6" W	3000 msnm	42

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

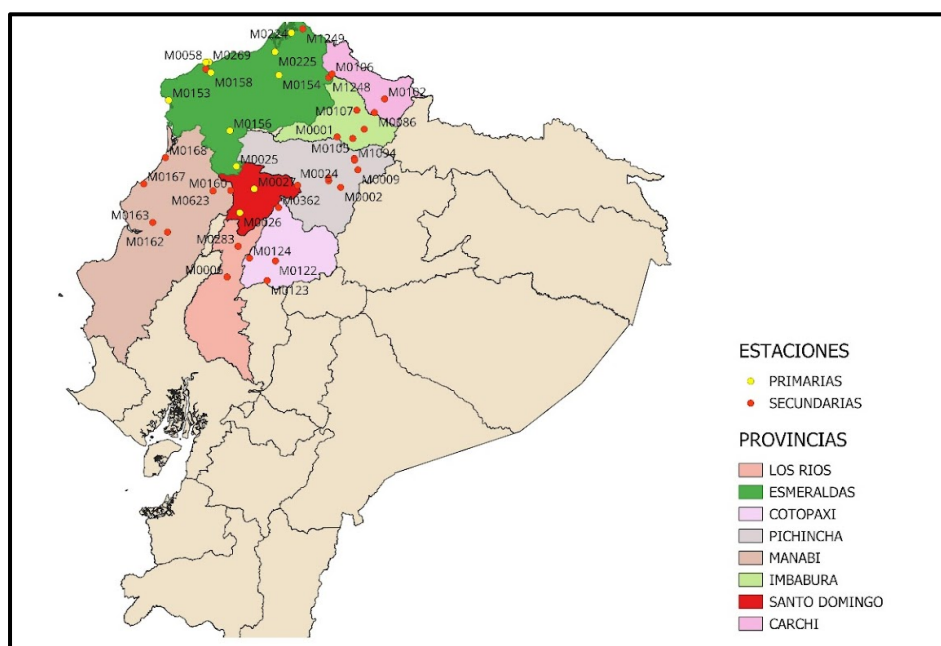
Tabla 15: Estaciones de la Provincia de Imbabura.

IMBABURA					
ESTACIONES	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	AÑOS
M0001	INGUINCHO	0° 15' 27" N	78° 24' 28.8" W	3140 msnm	37
M0105	OTAVALO	0° 14' 36" N	78° 15' 0" W	2550 msnm	43
M0106	LITA	0° 52' 5" N	78° 26' 59" W	720 msnm	20
M0107	CAHUASQUI - FAO	0° 31' 05" N	78° 12' 40" W	2335 msnm	33
M1240	IBARRA - INAMHI	0° 19' 47" N	78° 7' 56.8" W	1240 msnm	1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Se identificó la presencia de múltiples registros faltantes, lo cual hace necesario aplicar métodos para completar esta información. debido a esto se consideran también estaciones con data menor a 10 años.

Para llevar a cabo un análisis exhaustivo, es fundamental graficar las estaciones de las cuales se han obtenido datos, se utilizó el programa QGIS para visualizar la ubicación de las estaciones escogidas. Los detalles de este proceso se pueden observar en el Anexo C.

**Ilustración 22:** Mapa de las estaciones de estudio

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Se reunieron datos de 40 estaciones, de las cuales se descartan 8 ya que poseen data menor a 10 años.

Los resultados fueron los siguientes:

En la zona de estudio de Esmeraldas, se identificaron 12, y fueron descartadas 4.

En Santo Domingo de Los Tsáchilas, se localizaron 2, no hubo ningún descarte. Con respecto a las 26 estaciones restantes, situadas en provincias vecinas, 4 fueron descartadas.

A pesar de las exclusiones, las estaciones descartadas se utilizaron para completar datos de las estaciones primarias, actuando como auxiliares en el proceso.

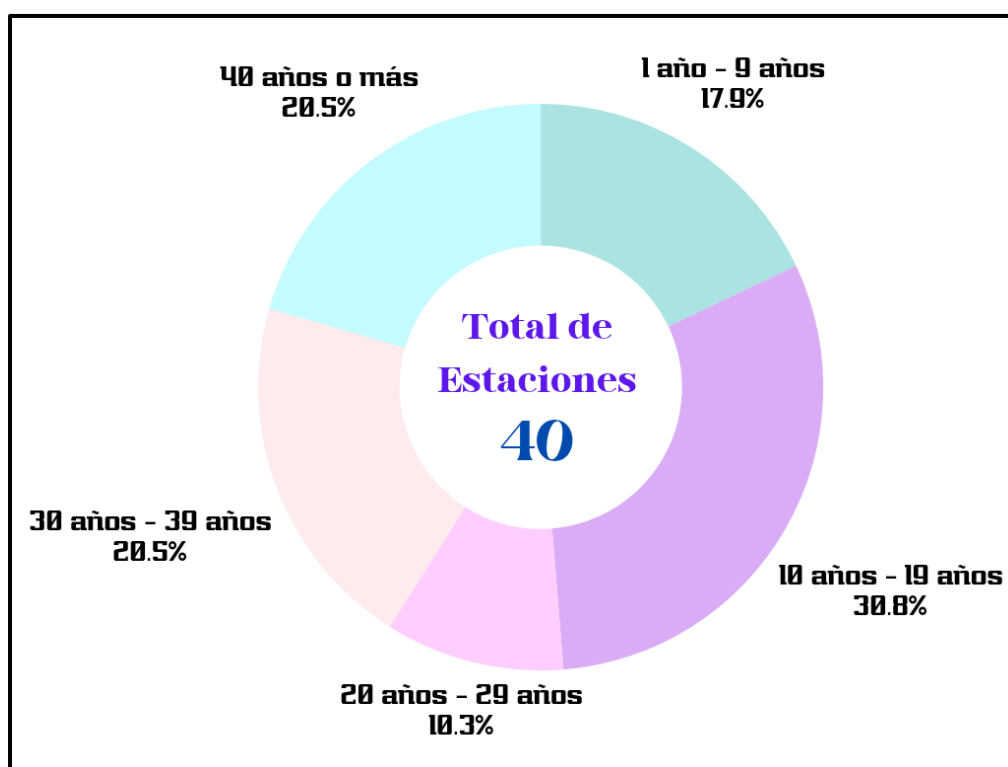


Ilustración 23: Distribución porcentual de estaciones por cantidad de datos

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.2 Análisis Estadístico de las Precipitaciones Proceso 1.

3.9.2.1 Hallar Data Faltante con la Recta de Regresión Lineal.

Se selecciona la estación con data faltante como la variable dependiente (Y), y la estación más cercana con datos completos como variable independiente (x). Con ello se calcula la correlación entre estaciones para asegurar de que hay una relación significativa entre ellas. Esto te indicará que tan fuerte es la relación entre dichas estaciones seleccionadas.

Una vez obtenida la ecuación de la recta, se la utiliza para hallar la data faltante de precipitación en la estación, se valida usando datos disponibles que no se utilizaron para ajustar la recta, comparando las estimaciones con valores reales. Los valores estimados se imputan en la data faltante para completar el conjunto de datos.

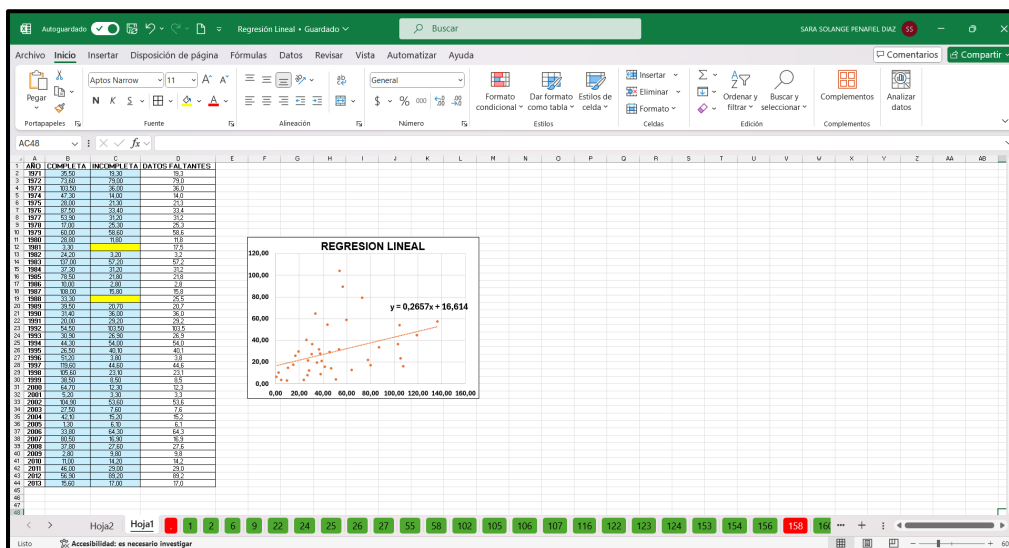


Ilustración 24: Ejemplo de regresión lineal en Excel para la estación M0025

Elaborado Por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 16: Formato para la Regresión Lineal con la estación M0025.

AÑO	COMPLETA	INCOMPLETA	DATOS FALTANTES
1971	35,50	19,30	19,3
1972	73,60	79,00	79,0
1973	103,50	36,00	36,0
1974	47,30	14,00	14,0
1975	28,00	21,30	21,3
1976	87,50	33,40	33,4
1977	53,90	31,20	31,2
1978	17,00	25,30	25,3
1979	60,00	58,60	58,6
1980	28,80	11,80	11,8
1981	3,30		17,5
1982	24,20	3,20	3,2
1983	137,00	57,20	57,2
1984	37,30	31,20	31,2
1985	78,50	21,80	21,8
1986	10,00	2,80	2,8
1987	108,00	15,80	15,8
1988	33,30		25,5
1989	39,50	20,70	20,7

1990	31,40	36,00	36,0
1991	20,00	29,20	29,2
1992	54,50	103,50	103,5
1993	30,90	26,90	26,9
1994	44,30	54,00	54,0
1995	26,50	40,10	40,1
1996	51,20	3,80	3,8
1997	119,60	44,60	44,6
1998	105,60	23,10	23,1
1999	38,50	8,50	8,5
2000	64,70	12,30	12,3
2001	5,20	3,30	3,3
2002	104,90	53,60	53,6
2003	27,50	7,60	7,6
2004	42,10	15,20	15,2
2005	1,30	6,10	6,1
2006	33,80	64,30	64,3
2007	80,50	16,90	16,9
2008	37,80	27,60	27,6
2009	2,80	9,80	9,8
2010	11,00	14,20	14,2
2011	46,00	29,00	29,0
2012	56,90	89,20	89,2
2013	15,60	17,00	17,0

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

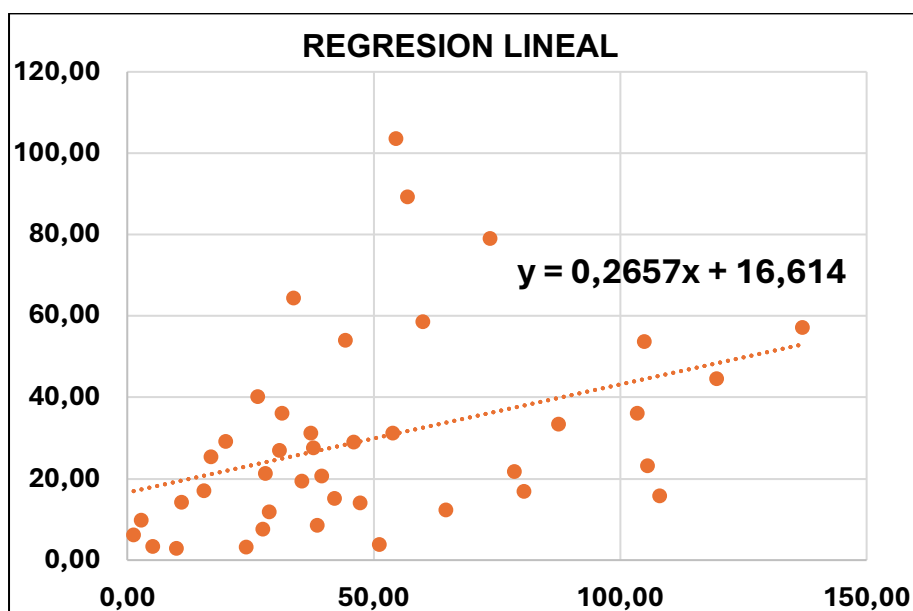


Ilustración 25: Gráfica de la Regresión Lineal de la estación M0025.

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

A continuación, se describen los pasos a seguir para cada estación de estudio. La data se puede organizar con este formato como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17: Formato de organización de las precipitaciones.

N	AÑO	MÁXIMA PRECIPITACIÓN MENSUAL	PRECIPITACIÓN (mm)
1			
2			
3			
4			
40			

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.2.2 Precipitación Máxima Probable con Distribución de Gumbel.

Con la clasificación de la data se obtiene la estimación de precipitaciones máximas probables para el periodo de retorno que se considera. Aplicando la distribución de Gumbel. Los parámetros para esta distribución son la \bar{x} y S .

Tabla 18: Formato para el cálculo de \bar{x} y S para una estación.

N	AÑO	MÁXIMA PRECIPITACIÓN MENSUAL	PRECIPITACIÓN EN mm (X_i)	$(X_i - \bar{X})^2$
1				
2				
3				
40				
		Σ		

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Para esto, es necesario obtener los valores de α y β , los periodos de retorno que utilizaremos son los presentados en la Tabla 6.

Con los parámetros obtenidos, se aplica la distribución de Gumbel para la estimación de las precipitaciones máximas probables diarias para cada periodo de retorno, indicando su respectiva probabilidad de no ocurrencia. Conforme U.S. Weather Bureau recomienda aplicar un factor de corrección de 1.13, para convertir datos medios en intervalos fijos (pluviómetros), a mediciones en intervalos continuos (pluviógrafos).

Tabla 19: Formato para organizar la precipitación máxima probable.

T (años)	X (mm)	$F(x)$	$X \times 1,13$ (mm)
2			
5			
10			
25			
50			
100			
150			
200			
300			
500			

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

El siguiente paso es evaluar si existe una buena correlación mediante pruebas de bondad de ajuste: Test Kolmogorov - Smirnov y Coeficiente de Determinación.

3.9.2.3 Prueba de Bonda con el Test de Kolmogorov Smirnov.

En esta prueba de bondad de ajuste se requiere de α y β de la distribución de Gumbel. Los datos de precipitación máxima deben ser ordenados de mayor a menor para ser utilizados en la Tabla 20.

Tabla 20: Formato para el cálculo de D en el Test de Kolmogorov - Smirnov

N	AÑO	MÁXIMA PRECIPITACIÓN MENSUAL	FRECUENCIA	FRECUENCIA	$ F_o - F(x) $
			OBSERVADA $F_o(x_m) = 1 - \frac{m}{n+1}$	TEÓRICA $F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$	
1					
2					
3					
4					
40					
$D = \text{máx} F_o(x_m) - F(x) $					

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

El valor de la máxima diferencia absoluta entre la frecuencia teórica y la observada debe ser comparada con el valor crítico d . Para establecer este valor crítico en este trabajo se considera un nivel de significancia de 0,05; es decir, un nivel de confianza del 95%. Teniendo en cuenta aquello se debe procurar que para cada estación se cumpla que $D < d$.

3.9.2.4 Coeficiente de Determinación.

El Coeficiente de Determinación se utiliza como segundo filtro para dar validez a la distribución de frecuencia que se aplica a las precipitaciones máximas. Para calcular este coeficiente se utiliza la Tabla 21.

Tabla 21: Formato para calcular R^2

N	AÑO	MÁXIMA PRECIPITACIÓN MENSUAL	FRECUENCIA	FRECUENCIA	$(F_o(x_m) - F(x))^2$	$(F_o(x_m) - \overline{F_o(x_m)})^2$
			OBSERVADA $F_o(x_m) = 1 - \frac{m}{n+1}$	TEÓRICA $F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$		
1						
2						
3						
4						
40						
Media Aritmética $\overline{F_o(x_m)}$				Σ		

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Una vez completa la tabla 21 se determina R^2 , mientras el Coeficiente de Determinación más se aproxime a 1, mejor es la correlación.

3.9.2.5 Curvas IDF para Precipitaciones Máximas en Horas.

Las precipitaciones máximas probables en 24 horas, es necesario convertir estas precipitaciones de tal manera que correspondan a las duraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12 y 18 horas. Se multiplica el coeficiente con los valores de precipitación máxima probable corregidos para cada periodo de retorno como se muestra en la Tabla 19. Y con los datos resultantes se elabora la Tabla 22.

Tabla 22: Precipitaciones máximas probables en distintos tiempos de duración.

TIEMPO DE DURACIÓN (HORAS)	COEFICIENTE DE CONVERSIÓN	PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE (MM) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE DURACIÓN									
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	150 años	200 años	300 años	500 años
1	0,30										
2	0,39										
3	0,46										
4	0,52										
5	0,57										
6	0,61										
8	0,68										
12	0,80										
18	0,91										
24	1										

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Las precipitaciones se convierten a intensidades en lo que resulta ser la Tabla 23:

Tabla 23: Intensidades de lluvia para distintas duraciones en min

TIEMPO DE DURACIÓN		INTENSIDAD DE LA LLUVIA (MM/HR) EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO									
Hr	Min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	150 años	200 años	300 años	500 años
1	60										
2	120										
3	180										
4	240										
5	300										
6	360										
8	480										
12	720										
18	1080										
24	1440										

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.2.6 Regresión Lineal Múltiple.

Con la Tabla 23 que son los parámetros de intensidad, duración y frecuencia, se utilizan para realizar la Regresión Lineal Múltiple para determinar los parámetros constantes de la ecuación de Curvas IDF para cada estación. Para ello se procede con la regresión donde se toma en cuenta la forma logarítmica, cuyos parámetros ($\log k$, $\log m$ y $\log n$) que se obtienen resolviendo el sistema, donde:

$$y = \log I \quad X_1 = \log T \quad X_2 = \log D \quad \alpha = \log K \quad \beta_1 = m \quad \beta_2 = -n$$

Para la construcción de ecuaciones se utiliza la Tabla 24, donde los periodos de retorno van desde los 2 años hasta los 500 años, con duración correspondientes a 60, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 720, 1080 y 1440 minutos, cuya intensidad será extraída de la Tabla 23.

Tabla 24: Formato para el cálculo de regresión múltiple.

N	T (años)	D (min)	I (mm/hr)	$Y = \log I$	$X_1 = \log T$	$X_2 = \log D$	$X_1 \cdot Y$	$X_2 \cdot Y$	$X_1 \cdot X_2$	X_1^2	X_2^2
1	2	60									
2	5	60									
3	10	60									
4	25	60									
5	50	60									
6	100	60									
7	150	60									
8	200	60									
9	300	60									
10	500	60									
11	2	120									
...									
19	300	120									
20	500	120									
...									
99	300	1440									
100	500	1440									
Σ											

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Después de definir el sistema de ecuaciones se lo puede solucionar por cualquier método de solución de ecuaciones 3×3 . En este caso se soluciona por el método matricial y se obtiene los parámetros ($\log k$, $\log m$ y $\log n$).

Donde para obtener k se debe aplicar propiedades de logaritmos:

$$k = 10^{\log k}$$

3.9.2.7 Coeficiente de Correlación Múltiple.

Como paso final, al graficar las curvas IDF, se debe corroborar que exista una buena correlación múltiple. Para ello utilizaremos la Tabla 25.

Tabla 25: Formato para el cálculo de Coeficiente de Relación Lineal Múltiple.

N	$Y = \log I$	$X_1 = \log T$	$X_2 = \log D$	$\hat{y} = \log(K) + m \log(T) - n \log(D)$	$(Y_i - \hat{y})^2$	$(Y_i - \bar{y})^2$
1						
2						
3						
...						
97						
98						
99						
100						
Media Aritmética		Σ				

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.2.8 Regionalización de los Parámetros k , m , y n .

Para la respectiva regionalización se necesita los parámetros k , m , y n de las curvas IDF por medio de la interpolación, para ello se realiza un formato como la Tabla 26 en Microsoft Excel, esta tabla será importada a QGIS, para realizar la respectiva regionalización.

Tabla 26: Datos requeridos para la interpolación en Qgis

ESTACION	NOMBRE	PROVINCIA	LATITUD	LONGITUD	k	m	n

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Los pasos consecutivos para la regionalización lo encontraremos en el anexo D.

3.9.2.9 Error Relativo.

Los porcentajes de error se determinan mediante la ecuación 35, para lo cual se utiliza dos estaciones de prueba, donde se comparan los datos obtenidos con los datos interpolados por dos métodos (IDW - KO). Esta comparación permitirá evaluar la precisión de los parámetros hallados por las técnicas utilizadas en el proceso.

Tabla 27: Porcentaje de error por el método de interpolación IDW

IDW	ESTACION DE PRUEBA	K	M
	225	3,9%	6,7%
26	8,76	1,1	

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 28: Porcentaje de error por el método de interpolación KO

KRIKING	ESTACION DE PRUEBA	K	M
	225	2,9%	6,33%
26	13,44%	3,06%	

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.3 Análisis Estadístico de las Precipitaciones Proceso 2.

3.9.3.1 Hallar Data Faltante con el Método de U.S.

Para hallar los datos faltantes de dicho método se realizaron los siguientes pasos:

Paso 1: Se utiliza el programa QGIS para medir las distancias en kilómetros entre estaciones y determinar su proximidad, aplicando la fórmula de la U.S.

Paso 2: Una vez escogida la estación con datos incompletos y las estaciones auxiliares que ayudan a estimar los datos faltantes, se inicia el cálculo donde se toma cuenta la ecuación 9 expuesta en el capítulo 2, y se diseña una tabla en Excel para facilitar el cálculo.

Paso 3: Para concluir, en la tabla 29, se registraron los datos de precipitación (P en mm) de las 4 estaciones observadas con datos completos, correspondientes al mismo año y mes de la estación con datos incompletos, se incluye también la distancia (D en km) entre cada estación completa y la estación con datos faltantes. Además, se calcularon los valores de $W = 1/D^2$ y el producto ponderado $P * W$. Finalmente, se obtiene el resultado de la estación estimada para la estación con dato incompleto.

Este proceso se repite para cada estación que contenga datos faltantes.

Tabla 29: Formato para hallar datos faltantes por el Método de la U.S.

ESTACION	P (mm)	D (km)	$W = 1/D^2$	$P * W$	RESULTADO (mm)
1	12,4	6,88	0,021126	0,26197	9,3
2	8,0	7,73	0,016736	0,13388	
3	6,1	8,50	0,013841	0,08443	
4	9,2	51,85	0,000372	0,00342	
Σ			0,052075	0,48370	

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.3.2 Datos Atípicos.

Para realizar el análisis de datos atípicos, se desarrollan los siguientes pasos:

Paso 1: Identificar el valor máximo diaria mensual para cada año. Aplicar la función *LOG* (10) en Excel para calcular el logaritmo de cada valor y conocer el valor mínimo, siguiendo el formato de la tabla 30.

Tabla 30: Formato para hallar datos atípicos - estación M0001.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Pmax24	Log(P24hr)
1977	25,4	9,6	33,2	39,7	17,9	15,3	1,4	12,3	43,0	26,1	26,0	32,8	43,0	1,63
1978	35,3	31,8	25,7	32,7	21,6	2,3	6,4	9,6	32,9	23,9	38,1	18,1	38,1	1,58
1979	6,6	20,8	20,8	26,4	24,0	17,4	13,8	16,6	24,7	30,1	12,4	12,1	30,1	1,48
1980	34,7	59,4	24,3	30,8	7,7	13,7	2,7	13,4	16,3	29,4	35,8	49,1	59,4	1,77
1981	13,6	24,1	29,2	45,7	22,5	7,2	4,7	12,4	6,0	31,3	46,1	31,3	46,1	1,66
1982	22,3	31,0	35,1	28,3	28,9	36,0	11,7	2,6	20,9	26,7	34,0	37,3	37,3	1,57
1983	13,6	26,2	60,7	29,8	30,7	9,0	5,0	24,8	6,0	54,2	30,9	20,1	60,7	1,78
1984	20,1	20,4	49,1	27,9	22,5	20,3	5,9	5,5	43,0	26,6	37,5	27,1	49,1	1,69
1985	40,8	27,9	30,1	39,1	52,5	12,8	4,5	10,3	35,7	22,1	30,4	26,2	52,5	1,72
1986	27,4	23,0	48,1	44,0	26,8	3,3	1,2	3,4	35,1	30,6	22,5	37,5	48,1	1,68
1987	18,9	19,5	42,6	35,7	47,1	8,0	15,2	15,8	32,4	18,4	10,5	14,0	47,1	1,67
1988	38,9	53,5	9,6	37,8	76,1	64,0	38,4	9,5	17,2	32,4	50,4	14,9	76,1	1,88
1989	28,5	40,0	25,9	34,0	30,2	17,0	20,0	5,9	27,8	26,4	14,0	17,3	40,0	1,60
1990	32,4	32,8	30,8	30,4	11,2	6,6	10,8	0,9	25,5	39,4	20,0	24,5	39,4	1,60
1991	14,8	36,3	35,1	14,5	61,5	17,6	11,9	16,0	32,9	20,9	32,1	36,5	61,5	1,79
1992	6,0	23,4	8,2	50,1	25,7	30,6	3,2	6,0	20,6	16,7	26,3	23,3	50,1	1,70

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 2: Calcular los parámetros estadísticos usando las funciones de Excel, según la tabla 31, se debe aplicar las fórmulas para cada columna; Max. 24 h y Log (24h).

Tabla 31: Parámetros y sus funciones en Microsoft Excel

PARAMETROS	Max. 24 h	Log (24h)
Número de datos (N)	=CONTAR	
Suma	=SUMA	
Valor Máximo	=MAX	
Valor Mínimo	=MIN	
Media:	=PROMEDIO	
Varianza:	=VAR	
Desviación Estándar:	=RAIZ(VAR)	
Coefficiente Variación:	= DESVIACION ESTANDAR/PROMEDIO	
Coefficiente de Sesgo:	=COEFICIENTE.ASIMETRIA	

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

En la tabla 32 se muestra los resultados, haciendo este procedimiento con los valores de la estación M0001.

Tabla 32: Resultados de los parámetros con la estación M0001.

PARAMETROS	Max. 24 h	Log (24h)
Número de datos (N)	37	37
Suma	1784,80	61,79
Valor Máximo	91,00	1,96
Valor Mínimo	30,10	1,48
Media:	48,238	1,670
Varianza:	167,884	0,011
Desviación Estándar:	12,957	0,106
Coefficiente Variación:	0,269	0,064
Coefficiente de Sesgo:	1,422	0,7077

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 3: Determinar el valor de kn basado en el tamaño de la muestra N la cual se encuentra en la tabla 3 del capítulo 2.

Tabla 33: Resultados de kn según el número de datos de la estación M0001.

$n =$	37,00
$kn =$	2,682

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 4: Cálculo de los umbrales para detectar datos atípicos, para los valores altos se utiliza la ecuación 17 y para los valores atípicos bajos la ecuación 18.

Paso 5: Conversión de las unidades de Y_H y Y_L , en términos de precipitación real, elevar cada uno de estos valores a la potencia de 10.

Paso 6: Identificar los valores atípicos:

- Si un valor de Log (24 h) es mayor que Y_H , ese dato se considera atípico alto.
- Si un valor de Log (24 h) es menor que Y_L , ese dato se considera atípico bajo.

Paso 6: Realizar un gráfico, de dispersión para identificar de manera visual los valores atípicos. Como se muestra en la ilustración 26.

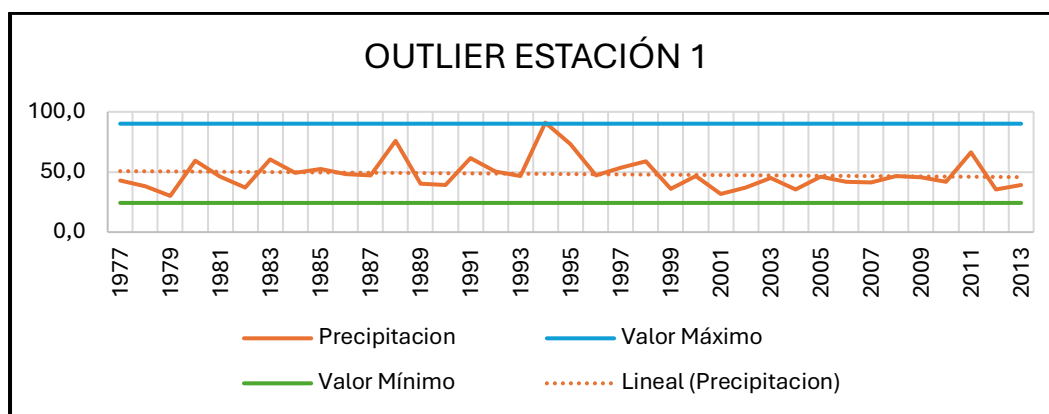


Ilustración 26: Gráfico de datos atípicos de la estación M0001.

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 7: Ajuste de valores atípicos:

- Los valores atípicos altos, se debe verificar la exactitud de los valores proporcionados por el INAMHI para asegurarse de que no haya errores de registros. Si se encuentra un error, debe ser ajustado o si es necesario eliminar el valor.
- Los valores atípicos bajos, deben ser eliminados de la muestra, para evitar distorsiones en el análisis.

Realizar este procedimiento para cada estación.

3.9.3.3 Hydrognomon.

En la hidrología es fundamental realizar numerosos análisis estadísticos, y la tecnología se ha vuelto una herramienta esencial para realizar de manera

eficiente dichos procesos. El uso del programa Hydrognomon ayuda a reducir errores y facilitar el análisis detallado de los diferentes modelos propuestos por expertos en la hidrología.

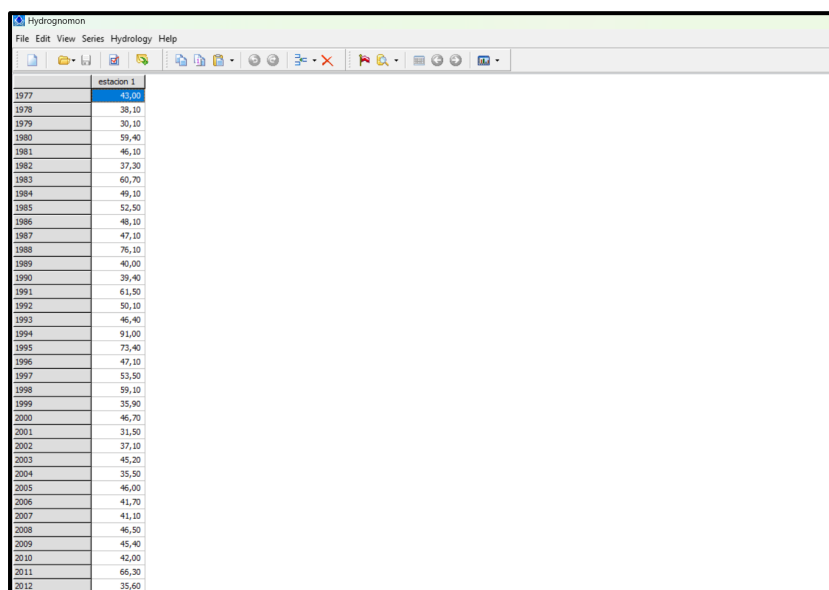
En este estudio, el programa Hydrognomon se emplea para analizar las precipitaciones máximas de 24 horas,

Desarrollando los siguientes procesos:

- Distribuciones teóricas
- Prueba De Bonda (Kolmogorov - Smirnov)
- Periodos de retorno (tabla 6)

3.9.3.4 Prueba de Bonda en Hydrognomon.

Paso 1: Para comenzar con el análisis es necesario introducir la data de precipitación máxima mensual de cada año, en Hydrognomon como se muestra en la ilustración 27, verificando que los datos estén correctamente ingresados, revisando posibles inconsistencias o errores de tipografía.



Year	Precipitation (mm)
1977	43,00
1978	38,10
1979	30,10
1980	59,40
1981	46,10
1982	37,30
1983	60,70
1984	49,10
1985	52,50
1986	48,10
1987	47,10
1988	76,10
1989	40,00
1990	39,40
1991	61,50
1992	50,10
1993	46,40
1994	91,00
1995	73,40
1996	47,10
1997	53,50
1998	59,10
1999	35,00
2000	46,70
2001	31,50
2002	37,10
2003	45,20
2004	35,50
2005	46,00
2006	41,70
2007	41,10
2008	46,50
2009	45,40
2010	42,00
2011	66,30
2012	35,60

Ilustración 27: Datos ingresados de la estación M0001

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 2: Ejecutar el análisis y elegir la distribución que mejor se ajusta en los parámetros estadísticos de los datos, dirígete al menú y selecciona "análisis de frecuencia".

Paso 3: Hydrognomon genera automáticamente gráficos de las diferentes distribuciones ajustadas. Estos gráficos permiten una comparación visual para evaluar cual distribución se adapta a los datos.

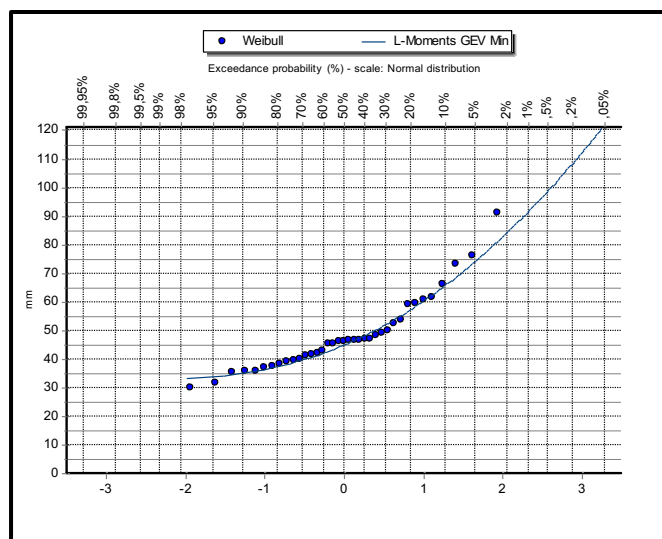


Ilustración 28: Gráfico de probabilidad GEV- Min L-Moments de la estación 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 4: Una vez seleccionada la distribución que mejor se ajuste, se procede a realizar la prueba de bondad de ajuste, para validar estadísticamente la selección.

Paso 5: Dirígete a menú correspondiente como se muestra en la ilustración 29 y seleccionar la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Esta prueba comparará la distribución empírica de los datos con la distribución teórica.

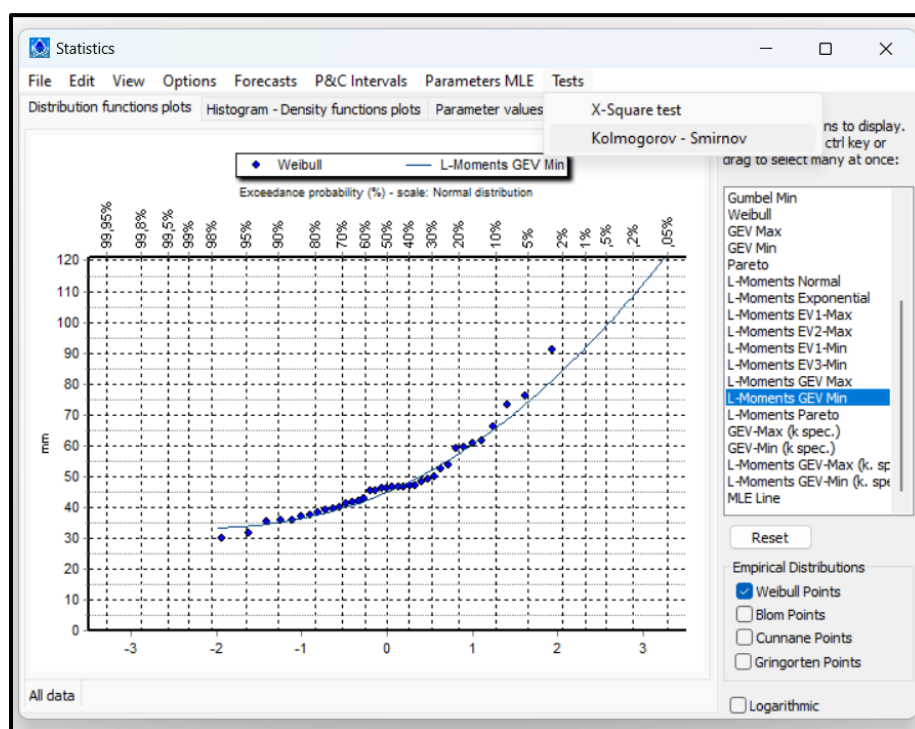


Ilustración 29: Elegir test Kolmogorov-Smirnov en Hydrognomon

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 6: Hydrognomon muestra cual distribución resulta mejor para los datos que basándose en los resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Este procedimiento se aplica a todas las estaciones en estudio. Al finalizar el análisis, se seleccionó la distribución GEV-MIN (L - moments), debido a que mostro mejor ajuste con los datos de la mayoría de las estaciones.

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	50,7057%	0,13104
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96,9707%	0,07636
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97,8587%	0,07351
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	83,2655%	0,09812
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95,7389%	0,07952
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	REJECT	REJECT	2,68409%	0,23709
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	17,3400%	0,17748
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91,4343%	0,08749
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93,4548%	0,08414
Pareto	REJECT	REJECT	REJECT	0,67508%	0,27305
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95,1214%	0,08089
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	89,9720%	0,08967
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	82,5525%	0,09893
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86,0203%	0,09487
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	2,61480%	0,23782
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	14,7203%	0,18348
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3,16737%	0,23241
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97,3293%	0,07529
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9,60372%	0,19828
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93,9341%	0,08326
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9,02691%	0,20034

Ilustración 30: Resultados de la prueba de bondad para la estación M0001

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.3.5 Calcular Periodos de Retorno.

Después que la distribución más adecuada ha sido seleccionada, Hydrognomon calcula automáticamente los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno.

Paso 1: Elegir los periodos de retornos de la tabla 6 ubicada en el capítulo 2.

Paso 2: En la interfaz de Hydrognomon, se definen los periodos de retorno, esto se realiza en el módulo de análisis de frecuencia, donde se puede introducir manualmente los periodos deseados, como se muestra en la ilustración 31

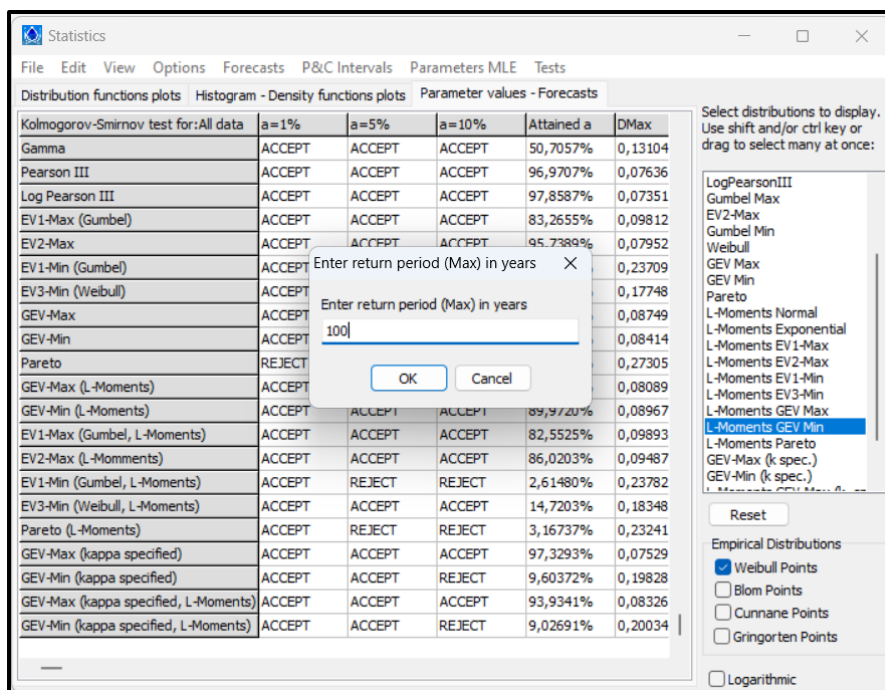


Ilustración 31: Ingreso de periodos de retornos, estación M0001

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

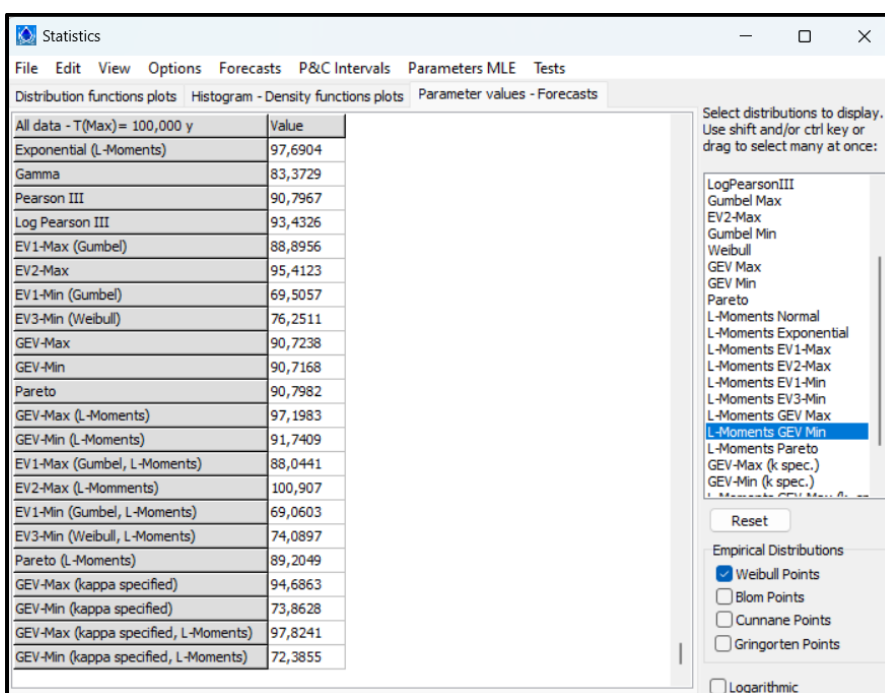


Ilustración 32: Resultados periodo de retorno de 100 años, estación M0001

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Paso 3: Finalmente, transferimos los resultados de precipitaciones correspondientes a cada periodo de retorno a una tabla, como se muestra en la tabla 34, esta será fundamental para los análisis posteriores en el estudio.

Tabla 34: Formato para precipitaciones según el periodo de retorno

GEV-Min (L-moments)	
PERIODO DE RETORNO	HYDROGNOMON
2	44,8812
5	57,3349
10	65,8934
25	76,5528
50	84,2635
100	91,7409
150	96,0235
200	99,0258
300	103,2100
500	108,4090

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

3.9.3.6 Curvas IDF para Precipitaciones Máximas en Horas.

Para comenzar a realizar las curvas IDF, según el instituto U.S. Weather Bureau (1962-1965) es fundamental multiplicar las cantidades máximas anuales de precipitaciones diarias por un factor empírico de 1,13 para convertir los datos de precipitación diaria en precipitación máxima de 24 horas, se aproxima bastante a los valores máximos reales. En la tabla 35 se aplica la multiplicación del coeficiente de ajuste a los diferentes periodos de retorno.

Tabla 35: Formato de precipitaciones máximas con ajuste.

GEV Min (L - moments)		
PERIODO DE RETORNO	HYDROGNOMON	AJUSTE
2	44,8812	50,716
5	57,3349	64,79
10	65,8934	74,46
25	76,5528	86,50
50	84,2635	95,22
100	91,7409	103,67
150	96,0235	108,51
200	99,0258	111,90
300	103,2100	116,63
500	108,4090	122,50

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Luego de determinar las precipitaciones máximas probables para 24 horas y ajustarlas a los periodos de retorno, según la tesis de (Velasco Ramos & Garaicoa Velásquez, 2023) se deben convertir las precipitaciones a duraciones horarias cortas, de 1,2,3,4,5,6,8,12,18,24 horas, esto permite transformar las precipitaciones diarias en valores horarios. El cálculo se realizó tal cual se muestra en la tabla 36. Este procedimiento es similar al proceso 1.

Tabla 36: Precipitación máxima probable en función del tiempo de duración

Tiempo de duración (horas)	Coeficiente de conversión	Precipitación máxima probable (mm) en función del tiempo de duración									
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	150 años	200 años	300 años	500 años
24	1										
18	0,91										
12	0,8										
8	0,68										
6	0,61										
5	0,57										
4	0,52										
3	0,46										
2	0,39										
1	0,3										

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Seguido a esto para sacar las curvas IDF, se realiza el cálculo de la intensidad de lluvia realizada en la tabla 37, esta se calcula dividiendo la cantidad máxima probable de precipitación, entre la duración en horas. Cada celda contiene la intensidad de lluvia correspondiente, calculada para cada periodo de retorno.

Tabla 37: Intensidad de la lluvia en función del periodo de retorno

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) en función del Periodo de retorno									
Hr	Min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	150 años	200 años	300 años	500 años
24	1440										
18	1080										
12	720										
8	480										
6	360										
5	300										
4	240										
3	180										
2	120										
1	60										

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Los siguientes pasos del proceso 2 se ejecutan de la misma manera que el

Proceso 1: utilizando los datos obtenidos en el

Proceso 2. Estos pasos comprenden.

Regresión Lineal Múltiple, descrita en el inciso 3.10.5.1. donde se aplica para modelar la relación entre múltiples variables independientes y la variable dependiente.

Coefficiente de Correlación, que se encuentra en el inciso 3.10.5.2.

Regionalización y error relativo, detallado inciso 3.10.6 y 3.10.7 en los que se realiza la regionalización de los parámetros (k, m, n). Y se calcula el error relativo para evaluar la precisión del modelo en diferentes zonas.

CAPÍTULO IV

Desarrollo del Tema

4.1 Proceso 1

Después de trabajar los datos de las 40 estaciones estudiadas, solo 32 de ellas serán las hábiles para esta investigación, el 25% tienen 40 o más años con registros completos, un 25% cuentan con 30 o más años, el 12,5% con 20 años o más y finalmente un 12,5% tienen entre 10 y 19 años de información completa.

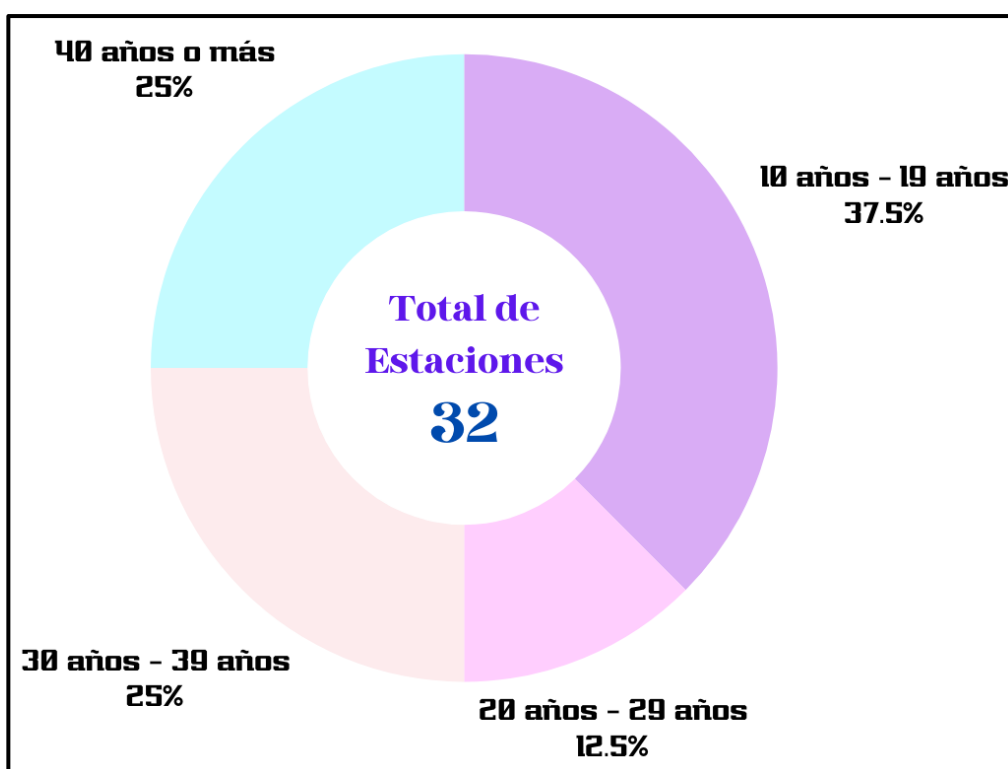


Ilustración 33: Grafica porcentual de las estaciones completas

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 38: Coordenadas planas de las estaciones.

ESTACION	NOMBRE	PROVINCIA	ESTE	NORTE	AÑOS
M0001	INGUINCHO	IMBABURA	789319,1681	10028583,2	37
M0002	LA TOLA	PICHINCHA	793125,6437	9974612,504	34
M0006	PICHILINGUE	LOS RIOS	671167,3393	9878372,678	43
M0009	LA VICTORIA INERHI	PICHINCHA	811632,7591	9993360,219	16
M0022	TABACUNDO	PICHINCHA	807795,4544	10005532,98	16
M0024	QUITO INAMHI-ÍÑAQUITO	PICHINCHA	780131,5114	9981560,42	38
M0025	LA CONCORDIA	ESMERALDAS	681248,1947	9997051,333	43
M0026	PUERTO ILA	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	684859,8079	9947353,132	43
M0027	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	700326,2822	9972845,242	17
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	PICHINCHA	779946,2206	9984510,773	16
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	ESMERALDAS	648358,3869	10108717,61	14
M0102	EL ANGÉL	CARCHI	840210,8729	10069334,08	42
M0105	OTAVALO	IMBABURA	806121,752	10026926,86	43
M0106	LITA	IMBABURA	783844,0448	10096042,04	20
M0107	CAHUASQUI - FAO	IMBABURA	810444,3269	10057329,07	33
M0116	CHIRIBOGA	PICHINCHA	746874,4793	9976709,716	13
M0122	PILALO	COTOPAXI	723122,0721	9895638,214	31
M0123	EL CORAZÓN	COTOPAXI	714141,3394	9874599,858	42
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	COTOPAXI	695231,6398	9898663,59	39
M0153	MUISNE	ESMERALDAS	608553,9761	10067985,92	33
M0154	CAYAPAS	ESMERALDAS	726776,5214	10094870,68	40
M0156	QUININDÉ	ESMERALDAS	674349,9564	10035321,5	22
M0160	EL CARMEN	MANABI	675062,0541	9971281,993	27
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	MANABI	607223,7225	9926579,142	40
M0163	BOYACÁ	MANABI	591460,4864	9936899,208	12
M0167	JAMA	MANABI	581819,7883	9978229,916	33
M0168	PEDERNALES-MANABI	MANABI	605097,7581	10006448,46	15
M0224	SAN LORENZO	ESMERALDAS	740167,1477	10140289,33	18
M0225	BORBÓN	ESMERALDAS	722555,8854	10119814,48	11
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	ESMERALDAS	651851,5596	10108934	14
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	LOS RIOS	683054,827	9911354,914	13
M1094	TOMALON- TABACUNDO	PICHINCHA	807981,1952	10003688,66	24

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.1.1 Determinación de las Curvas IDF.

4.1.1.1 Precipitación Máxima Probable Según Gumbel Tipo I.

En la Tabla 5 y 6 están las precipitaciones máximas probables, para los distintos períodos de retorno. Las precipitaciones fueron calculadas con la distribución de Gumbel Tipo I a partir de las lluvias máximas en 24 horas de cada estación en el período 1971 - 2013; además, se indican sus probabilidades de no ocurrencia $F(x)$:

Tabla 39: Precipitaciones máximas probables, de 2 a 50 años

ESTACION	NOMBRE	T= 2 AÑOS		T= 5 AÑOS		T= 10 AÑOS		T= 25 AÑOS		T= 50 AÑOS	
		PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)
M0001	INGUINCHO	46.7	0.500	65.4	0.800	77.8	0.900	93.4	0.960	104.9	0.980
M0002	LA TOLA	44.6	0.500	56.0	0.800	63.6	0.900	73.1	0.960	80.2	0.980
M0006	PICHILINGUE	116.3	0.500	147.3	0.800	167.9	0.900	193.8	0.960	213.1	0.980
M0009	LA VICTORIA INERHI	32.2	0.500	42.7	0.800	49.6	0.900	58.3	0.960	64.8	0.980
M0022	TABACUNDO	40.2	0.500	87.7	0.800	119.2	0.900	158.9	0.960	188.4	0.980
M0024	QUITO INAMHI- IÑAQUITO	44.8	0.500	57.2	0.800	65.5	0.900	76.0	0.960	83.7	0.980
M0025	LA CONCORDIA	136.6	0.500	173.4	0.800	197.7	0.900	228.4	0.960	251.2	0.980
M0026	PUERTO ILA	119.2	0.500	152.0	0.800	173.8	0.900	201.3	0.960	221.7	0.980
M0027	SANTO DOMINGO	124.9	0.500	155.7	0.800	176.0	0.900	201.7	0.960	220.8	0.980
M0055	QUITO AEROPUERTO- DAC	40.2	0.500	54.3	0.800	63.7	0.900	75.5	0.960	84.2	0.980
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	80.5	0.500	113.6	0.800	135.5	0.900	163.1	0.960	183.7	0.980
M0102	EL ANGÉL	36.4	0.500	47.3	0.800	54.6	0.900	63.8	0.960	70.6	0.980
M0105	OTAVALO	37.0	0.500	44.7	0.800	49.9	0.900	56.4	0.960	61.2	0.980
M0106	LITA	79.8	0.500	99.5	0.800	112.6	0.900	129.1	0.960	141.4	0.980
M0107	CAHUASQUI - FAO	33.8	0.500	43.3	0.800	49.7	0.900	57.6	0.960	63.5	0.980
M0116	CHIRIBOGA	89.8	0.500	119.3	0.800	138.8	0.900	163.4	0.960	181.7	0.980
M0122	PILALO	40.9	0.500	49.7	0.800	55.6	0.900	63.0	0.960	68.4	0.980
M0123	EL CORAZÓN	84.1	0.500	123.2	0.800	149.1	0.900	181.8	0.960	206.0	0.980
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	122.9	0.500	162.3	0.800	188.4	0.900	221.3	0.960	245.7	0.980
M0153	MUISNE	116.5	0.500	158.0	0.800	185.5	0.900	220.1	0.960	245.9	0.980
M0154	CAYAPAS	106.6	0.500	142.1	0.800	165.5	0.900	195.2	0.960	217.2	0.980
M0156	QUININDÉ	93.4	0.500	113.6	0.800	127.0	0.900	143.9	0.960	156.4	0.980
M0160	EL CARMEN	135.0	0.500	168.1	0.800	190.0	0.900	217.8	0.960	238.3	0.980
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	85.0	0.500	116.7	0.800	137.8	0.900	164.3	0.960	184.0	0.980
M0163	BOYACÁ	67.7	0.500	98.9	0.800	119.6	0.900	145.7	0.960	165.0	0.980
M0167	JAMA	69.5	0.500	101.0	0.800	121.9	0.900	148.3	0.960	167.8	0.980

M0168	PEDERNALES- MANABI	77.3	0.500	124.8	0.800	156.3	0.900	196.0	0.960	225.5	0.980
M0224	SAN LORENZO	116.2	0.500	150.2	0.800	172.7	0.900	201.1	0.960	222.2	0.980
M0225	BORBÓN	94.7	0.500	128.7	0.800	151.2	0.900	179.6	0.960	200.7	0.980
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	84.9	0.500	126.5	0.800	154.0	0.900	188.8	0.960	214.6	0.980
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	112.6	0.500	143.6	0.800	164.2	0.900	190.1	0.960	209.4	0.980
M1094	TOMALON- TABACUNDO	30.8	0.500	40.9	0.800	47.5	0.900	55.9	0.960	62.1	0.980

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 40: Precipitaciones máximas probables, de 100 a 500 años.

ESTACION	NOMBRE	T= 100 AÑOS		T= 150 AÑOS		T= 200 AÑOS		T= 300 AÑOS		T= 500 AÑOS	
		PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)	PBM (mm)	F(x)
M0001	INGUINCHO	116.4	0.990	123.1	0.993	127.9	0.995	134.6	0.996	143.0	0.998
M0002	LA TOLA	87.3	0.990	91.4	0.993	94.3	0.995	98.4	0.996	103.5	0.998
M0006	PICHILINGUE	232.2	0.990	243.4	0.993	251.3	0.995	262.4	0.996	276.4	0.998
M0009	LA VICTORIA INERHI	71.3	0.990	75.0	0.993	77.7	0.995	81.4	0.996	86.1	0.998
M0022	TABACUNDO	217.69	0.990	234.7	0.993	246.8	0.995	263.8	0.996	285.3	0.998
M0024	QUITO INAMHI- IÑAQUITO	91.4	0.990	95.9	0.993	99.1	0.995	103.5	0.996	109.2	0.998
M0025	LA CONCORDIA	273.8	0.990	287.0	0.993	296.4	0.995	309.5	0.996	326.1	0.998
M0026	PUERTO ILA	242.0	0.990	253.8	0.993	262.1	0.995	273.9	0.996	288.8	0.998
M0027	SANTO DOMINGO	239.8	0.990	250.8	0.993	258.7	0.995	269.7	0.996	283.6	0.998
M0055	QUITO AEROPUERTO- DAC	92.9	0.990	98.0	0.993	101.6	0.995	106.7	0.996	113.0	0.998
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	204.0	0.990	215.9	0.993	224.3	0.995	236.2	0.996	251.1	0.998
M0102	EL ANGÉL	77.4	0.990	81.3	0.993	84.1	0.995	88.0	0.996	93.0	0.998
M0105	OTAVALO	66.0	0.990	68.8	0.993	70.7	0.995	73.5	0.996	77.0	0.998
M0106	LITA	153.5	0.990	160.6	0.993	165.7	0.995	172.7	0.996	181.6	0.998
M0107	CAHUASQUI - FAO	69.4	0.990	72.8	0.993	75.2	0.995	78.6	0.996	82.9	0.998
M0116	CHIRIBOGA	199.9	0.990	210.5	0.993	218.0	0.995	228.6	0.996	241.9	0.998
M0122	PILALO	73.9	0.990	77.0	0.993	79.3	0.995	82.4	0.996	86.4	0.998
M0123	EL CORAZÓN	230.1	0.990	244.2	0.993	254.1	0.995	268.1	0.996	285.7	0.998
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	270.0	0.990	284.1	0.993	294.2	0.995	308.3	0.996	326.0	0.998
M0153	MUISNE	271.4	0.990	286.3	0.993	296.9	0.995	311.7	0.996	330.4	0.998
M0154	CAYAPAS	239.1	0.990	251.8	0.993	260.9	0.995	273.6	0.996	289.6	0.998
M0156	QUININDÉ	168.8	0.990	176.1	0.993	181.2	0.995	188.4	0.996	197.6	0.998
M0160	EL CARMEN	258.7	0.990	270.6	0.993	279.1	0.995	290.9	0.996	305.9	0.998
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	203.6	0.990	215.0	0.993	223.1	0.995	234.4	0.996	248.8	0.998
M0163	BOYACÁ	184.2	0.990	195.4	0.993	203.4	0.995	214.6	0.996	228.7	0.998
M0167	JAMA	187.3	0.990	198.6	0.993	206.6	0.995	217.9	0.996	232.1	0.998

M0168	PEDERNALES- MANABI	254.7	0.990	271.8	0.993	283.9	0.995	300.9	0.996	322.3	0.998
M0224	SAN LORENZO	243.2	0.990	255.4	0.993	264.0	0.995	276.2	0.996	291.6	0.998
M0225	BORBÓN	221.6	0.990	233.8	0.993	242.5	0.995	254.7	0.996	270.0	0.998
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	240.4	0.990	255.1	0.993	265.7	0.995	280.6	0.996	299.3	0.998
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	228.5	0.990	239.6	0.993	247.5	0.995	258.7	0.996	272.7	0.998
M1094	TOMALON- TABACUNDO	68.3	0.990	71.9	0.993	74.4	0.995	78.0	0.996	82.6	0.998

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Para cada estación se calculó la distribución de Gumbel Tipo I mediante el Test de Kolmogorov - Smirnov y luego por el Coeficiente de Determinación para conocer si dicha distribución se ajusta o no a los datos.

4.1.1.2 Test de Kolmogorov Smirnov.

En la Tabla 41 se muestran los resultados de la prueba para cada estación:

Tabla 41: Test de Kolmogorov - Smirnov para la distribución de Gumbel.

ESTACION	NOMBRE	D	d	OBSERVACIÓN
M0001	INGUINCHO	0.1735	0.2182	Se ajusta
M0002	LA TOLA	0.0945	0.2274	Se ajusta
M0006	PICHILINGUE	0.1216	0.2028	Se ajusta
M0009	LA VICTORIA INERHI	0.0954	0.3273	Se ajusta
M0022	TABACUNDO	0.3212	0.3273	Se ajusta
M0024	QUITO INAMHI-IÑAQUITO	0.0632	0.2154	Se ajusta
M0025	LA CONCORDIA	0.0746	0.2028	Se ajusta
M0026	PUERTO ILA	0.0911	0.2028	Se ajusta
M0027	SANTO DOMINGO	0.0632	0.3179	Se ajusta
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	0.0983	0.3273	Se ajusta
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	0.0678	0.3489	Se ajusta
M0102	EL ANGÉL	0.1027	0.2051	Se ajusta
M0105	OTAVALO	0.0983	0.2028	Se ajusta
M0106	LITA	0.0833	0.2940	Se ajusta
M0107	CAHUASQUI - FAO	0.1019	0.2307	Se ajusta
M0116	CHIRIBOGA	0.1362	0.3614	Se ajusta
M0122	PILALO	0.1282	0.2378	Se ajusta
M0123	EL CORAZÓN	0.1228	0.2051	Se ajusta

M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	0.0798	0.2127	Se ajusta
M0153	MUISNE	0.0506	0.2307	Se ajusta
M0154	CAYAPAS	0.0962	0.2101	Se ajusta
M0156	QUININDÉ	0.1224	0.2808	Se ajusta
M0160	EL CARMEN	0.0836	0.2543	Se ajusta
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	0.0807	0.2112	Se ajusta
M0163	BOYACÁ	0.1288	0.3754	Se ajusta
M0167	JAMA	0.0698	0.2307	Se ajusta
M0168	PEDERNALES-MANABI	0.1277	0.3375	Se ajusta
M0224	SAN LORENZO	0.0974	0.3093	Se ajusta
M0225	BORBÓN	0.1167	0.3912	Se ajusta
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	0.0950	0.3489	Se ajusta
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	0.0838	0.3614	Se ajusta
M1094	TOMALON- TABACUNDO	0.1515	0.2693	Se ajusta

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Como se vemos en la Tabla 41, la distribución de Gumbel Tipo I es aceptada por el Test de Kolmogorov - Smirnov para todas las estaciones, puesto que debe ser $D < d$. Todas se ajustan a la distribución de probabilidad de Gumbel de acuerdo con esta prueba de bondad de ajuste.

4.1.1.3 Coeficiente de Determinación.

Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42: Coeficiente de Determinación (R^2) de la distribución de Gumbel.

ESTACION	NOMBRE	R^2	OBSERVACIÓN
M0001	INGUINCHO	0.8770	No se ajusta
M0002	LA TOLA	0.9751	Se ajusta
M0006	PICHILINGUE	0.9600	Se ajusta
M0009	LA VICTORIA INERHI	0.9629	Se ajusta
M0022	TABACUNDO	0.4498	No se ajusta
M0024	QUITO INAMHI-IÑAQUITO	0.9898	Se ajusta
M0025	LA CONCORDIA	0.9872	Se ajusta
M0026	PUERTO ILA	0.9796	Se ajusta

M0027	SANTO DOMINGO	0.9851	Se ajusta
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	0.9607	Se ajusta
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	0.9805	Se ajusta
M0102	EL ANGÉL	0.9596	Se ajusta
M0105	OTAVALO	0.9786	Se ajusta
M0106	LITA	0.9809	Se ajusta
M0107	CAHUASQUI - FAO	0.9728	Se ajusta
M0116	CHIRIBOGA	0.9416	Se ajusta
M0122	PILALO	0.9483	Se ajusta
M0123	EL CORAZÓN	0.9443	Se ajusta
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	0.9887	Se ajusta
M0153	MUISNE	0.9902	Se ajusta
M0154	CAYAPAS	0.9709	Se ajusta
M0156	QUININDÉ	0.9651	Se ajusta
M0160	EL CARMEN	0.9801	Se ajusta
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	0.9844	Se ajusta
M0163	BOYACÁ	0.9607	Se ajusta
M0167	JAMA	0.9895	Se ajusta
M0168	PEDERNALES-MANABI	0.9554	Se ajusta
M0224	SAN LORENZO	0.9777	Se ajusta
M0225	BORBÓN	0.9504	Se ajusta
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	0.9782	Se ajusta
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	0.9714	Se ajusta
M1094	TOMALON- TABACUNDO	0.9118	Se ajusta

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

La prueba de bondad de ajuste no aprueba la distribución de Gumbel Tipo I para las estaciones M0001 y M0022. Para el resto de las estaciones, esta distribución de frecuencias se ajusta dado que el R^2 admite solo valores superiores a 0,88. Por ello, considerando el resultado obtenido, se descartan las estaciones M0001 y M0022 para posteriores análisis. De este modo las estaciones se restablecen a 30 estaciones.

4.1.1.4 Parámetros k , m y n .

Los parámetros k , m y n se determinaron por regresión lineal múltiple en cada estación y se muestran en la Tabla 43.

Tabla 43: Parámetros k , m y n de cada estación.

ESTACION	NOMBRE	PROVINCIA	LATITUD	LONGITUD	k	m	n
M0002	LA TOLA	PICHINCHA	0 13 46 S	78 22 0 W	186.8599	0.1461	0.6163
M0006	PICHILINGUE	LOS RIOS	1 06 0 S	79 27 42 W	487.6006	0.1501	0.6163
M0009	LA VICTORIA INERHI	PICHINCHA	0 03 36 S	78 12 2 W	136.4960	0.1692	0.6163
M0024	QUITO INAMHI- IÑAQUITO	PICHINCHA	0 10 0 S	78 29 0 W	188.0633	0.1543	0.6163
M0025	LA CONCORDIA	ESMERALDAS	0 01 36 S	79 22 17 W	572.9967	0.1508	0.6163
M0026	PUERTO ILA	SANTO DOMINGO	0 28 34 S	79 20 20 W	500.2195	0.1533	0.6163
M0027	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO	0 14 44 S	79 12 0 W	522.2398	0.1425	0.6163
M0055	QUITO AEROPUERTO- DAC	PICHINCHA	0 08 24 S	78 29 06 W	170.9463	0.1776	0.6163
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	ESMERALDAS	0 59 0 N	79 40 0 W	345.8834	0.1943	0.6163
M0102	EL ANGÉL	CARCHI	0 37 35 N	77 56 38 W	153.4093	0.1620	0.6163
M0105	OTAVALO	IMBABURA	0 14 36 N	78 15 0 W	154.1811	0.1279	0.6163
M0106	LITA	IMBABURA	0 52 05 N	78 26 59 W	333.6816	0.1429	0.6163
M0107	CAHUASQUI - FAO	IMBABURA	0 31 05 N	78 12 40 W	142.2528	0.1551	0.6163
M0116	CHIRIBOGA	PICHINCHA	0 12 38 S	78 46 55 W	379.9555	0.1707	0.6163
M0122	PILALO	COTOPAXI	0 56 37 S	78 59 42 W	170.7024	0.1302	0.6163
M0123	EL CORAZÓN	COTOPAXI	1 08 02 S	79 04 32 W	365.3186	0.2078	0.6163
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	COTOPAXI	0 54 59 S	79 14 44 W	519.5258	0.1681	0.6163
M0153	MUISNE	ESMERALDAS	0 36 54 N	80 01 28 W	495.5389	0.1790	0.6163
M0154	CAYAPAS	ESMERALDAS	0 51 28 N	78 57 44 W	451.3622	0.1721	0.6163
M0156	QUININDÉ	ESMERALDAS	0 19 10 N	79 26 0 W	389.3834	0.1306	0.6163
M0160	EL CARMEN	MANABI	0 15 35 S	79 25 37 W	564.2446	0.1422	0.6163
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	MANABI	0 39 51 S	80 02 11 W	362.6108	0.1841	0.6163
M0163	BOYACÁ	MANABI	0 34 15 S	80 10 41 W	293.8197	0.2069	0.6163
M0167	JAMA	MANABI	0 11 49 S	80 15 53 W	301.2144	0.2051	0.6163

M0168	PEDERNALES- MANABI	MANABI	0 03 30 N	80 03 20 W	346.6430	0.2395	0.6163
M0224	SAN LORENZO	ESMERALDAS	1 16 06 N	78 50 30 W	488.8397	0.1591	0.6163
M0225	BORBÓN	ESMERALDAS	1 05 0 N	79 0 0 W	402.9972	0.1799	0.6163
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	ESMERALDAS	0 59 07 N	79 38 07 W	370.4867	0.2138	0.6163
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	LOS RIOS	0 48 06 S	79 21 18 W	472.6348	0.1532	0.6163
M1094	TOMALON- TABACUNDO	PICHINCHA	0 02 0 N	78 14 0 W	130.5766	0.1696	0.6163

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Los resultados de los parámetros fueron importados a QGIS para llevar a cabo las respectivas interpolaciones y realizar la regionalización de los parámetros.

Tabla 44: Coeficiente de correlación múltiple para los parámetros k , m y n .

ESTACION	NOMBRE	R	OBSERVACIÓN
M0001	INGUINCHO	0.9952	Se ajusta
M0002	LA TOLA	0.9979	Se ajusta
M0006	PICHILINGUE	0.9977	Se ajusta
M0009	LA VICTORIA INERHI	0.9967	Se ajusta
M0024	QUITO INAMHI-IÑAQUITO	0.9975	Se ajusta
M0025	LA CONCORDIA	0.9977	Se ajusta
M0026	PUERTO ILA	0.9975	Se ajusta
M0027	SANTO DOMINGO	0.9980	Se ajusta
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	0.9962	Se ajusta
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	0.9950	Se ajusta
M0102	EL ANGÉL	0.9971	Se ajusta
M0105	OTAVALO	0.9985	Se ajusta
M0106	LITA	0.9980	Se ajusta
M0107	CAHUASQUI - FAO	0.9975	Se ajusta
M0116	CHIRIBOGA	0.9966	Se ajusta
M0122	PILALO	0.9984	Se ajusta
M0123	EL CORAZÓN	0.9938	Se ajusta
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	0.9968	Se ajusta
M0153	MUISNE	0.9961	Se ajusta
M0154	CAYAPAS	0.9965	Se ajusta

M0156	QUININDÉ	0.9984	Se ajusta
M0160	EL CARMEN	0.9980	Se ajusta
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	0.9957	Se ajusta
M0163	BOYACÁ	0.9939	Se ajusta
M0167	JAMA	0.9941	Se ajusta
M0168	PEDERNALES-MANABI	0.9904	Se ajusta
M0224	SAN LORENZO	0.9973	Se ajusta
M0225	BORBÓN	0.9960	Se ajusta
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	0.9932	Se ajusta
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	0.9976	Se ajusta
M1094	TOMALON- TABACUNDO	0.9967	Se ajusta

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Los valores del coeficiente de correlación múltiple, de los parámetros k , m y n de cada estación (Tabla), adoptan valores superiores a 0,98, esto indica que la correlación es excelente.

4.1.2 Regionalización de los Parámetros k , m y n .

Para evaluar la regionalización, se realizaron pruebas con distintas estaciones, para obtener mejores resultados con los métodos IDW y Kriging Ordinary. Se utilizó la estación M0026 y M0225, estas proporcionaron mejores resultados en las interpolaciones. En la tabla 43, se observó que el parámetro de n permanecía constante con un valor de 0,6164. Esto implica que, las comparaciones de ambos métodos, solo se consideran los parámetros de k , m .

En la ilustración 34 se observa graficadas las estaciones de prueba y las estaciones que se interpolaron en el proceso 1.

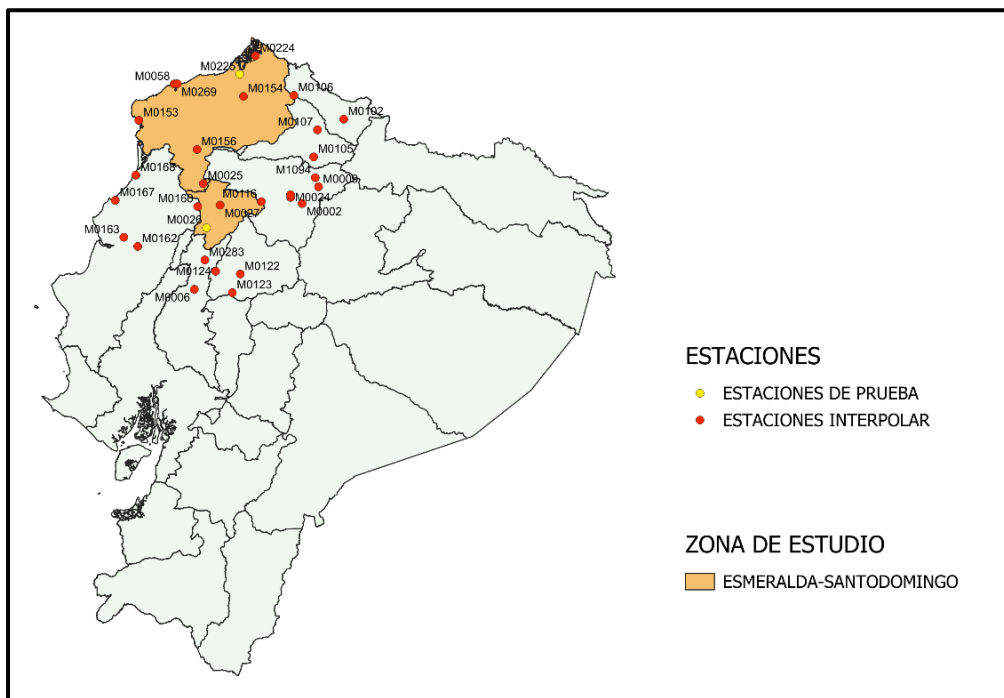


Ilustración 34: Ubicación de las estaciones de prueba del proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.1.2.1 Método IDW Proceso 1.

Los intervalos de los valores regionalizados de los parámetros k y m se muestran en los siguientes mapas de colores en la ilustración 35 y 36, adicional se presentan los mapas de isolíneas para cada parámetro en la ilustración 37 y 38. Estas graficas ayudan a facilitar la interpretación de los datos de manera más clara.

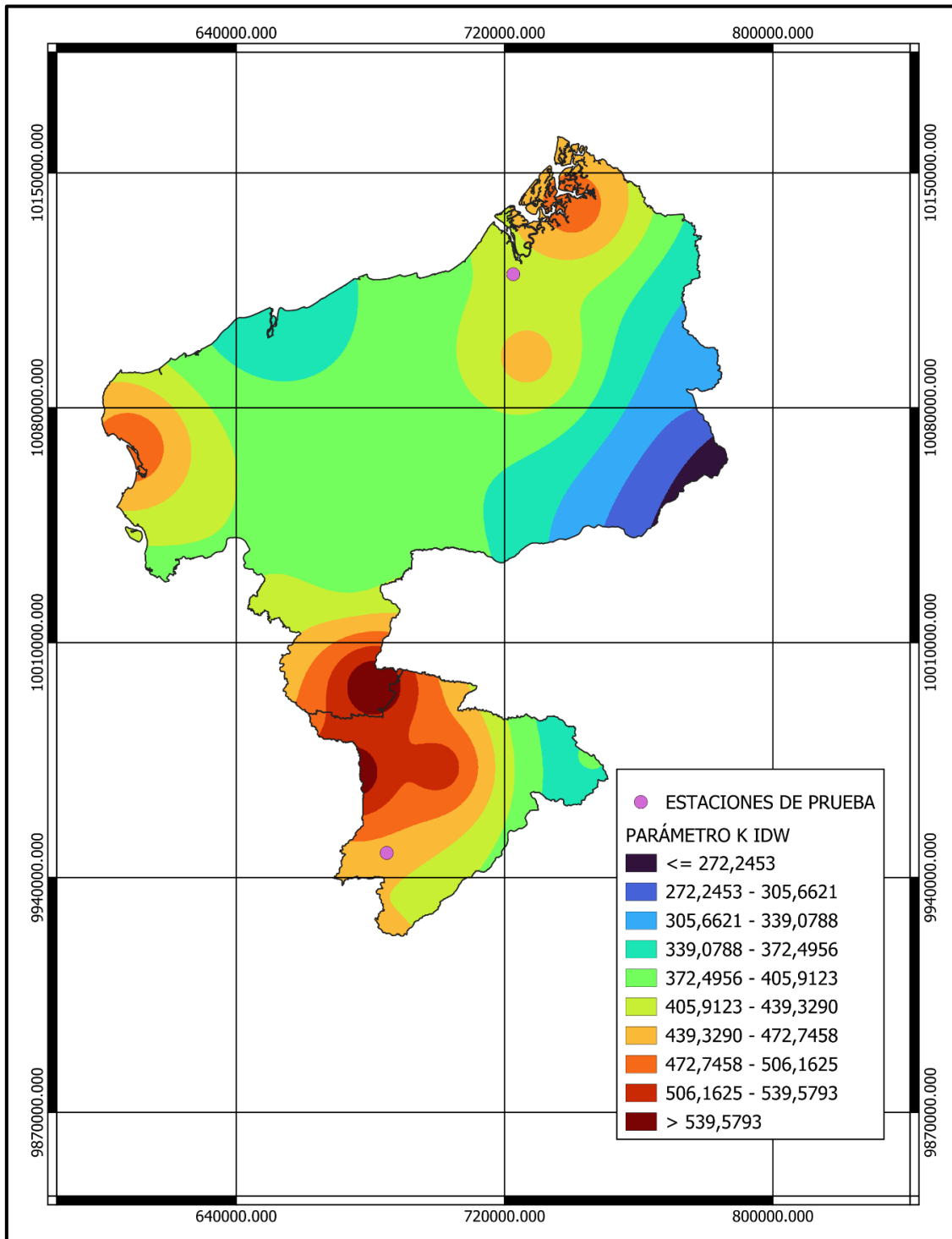


Ilustración 35: Mapa de regionalización del parámetro k por IDW, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

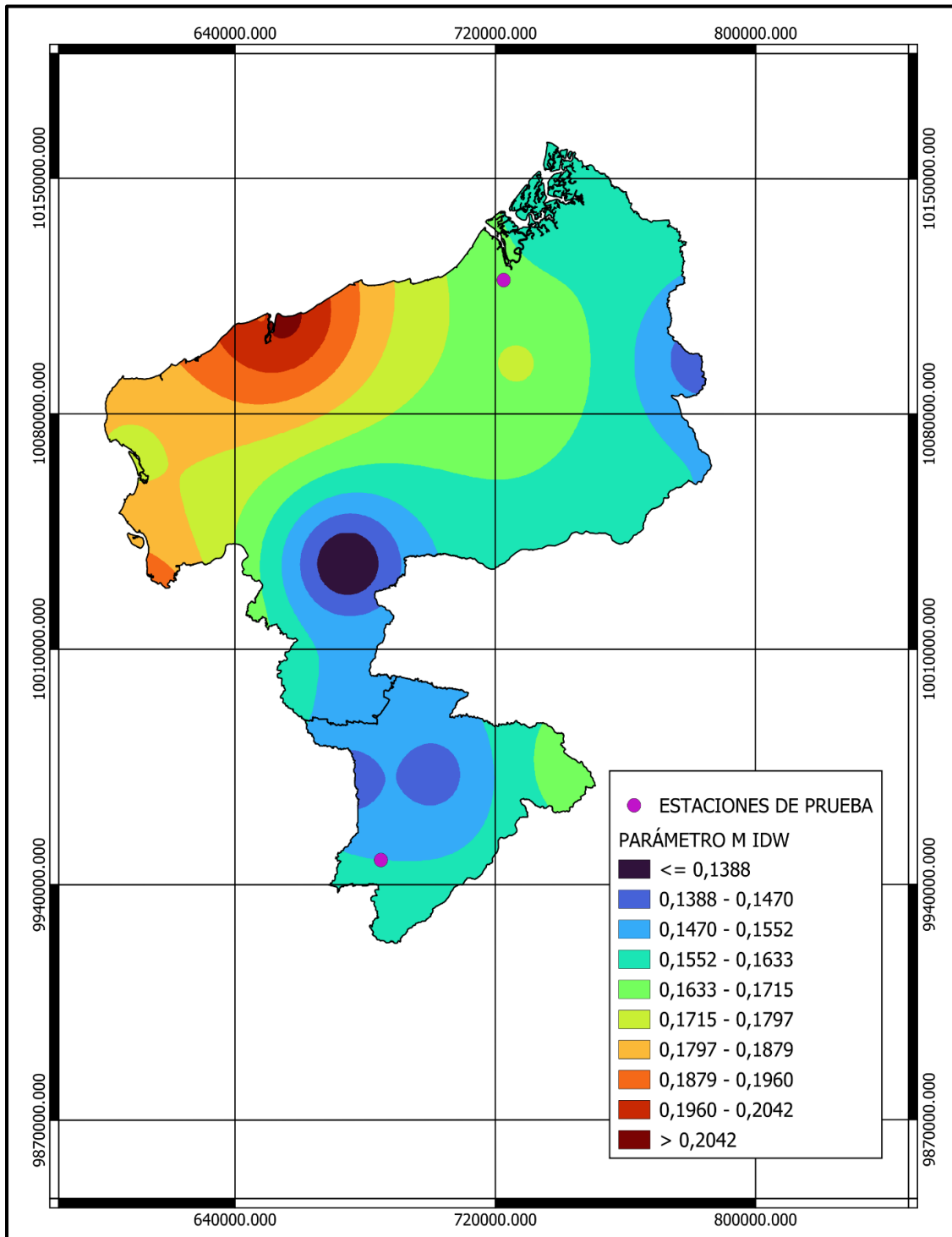


Ilustración 36: Mapa de regionalización del parámetro M por IDW, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

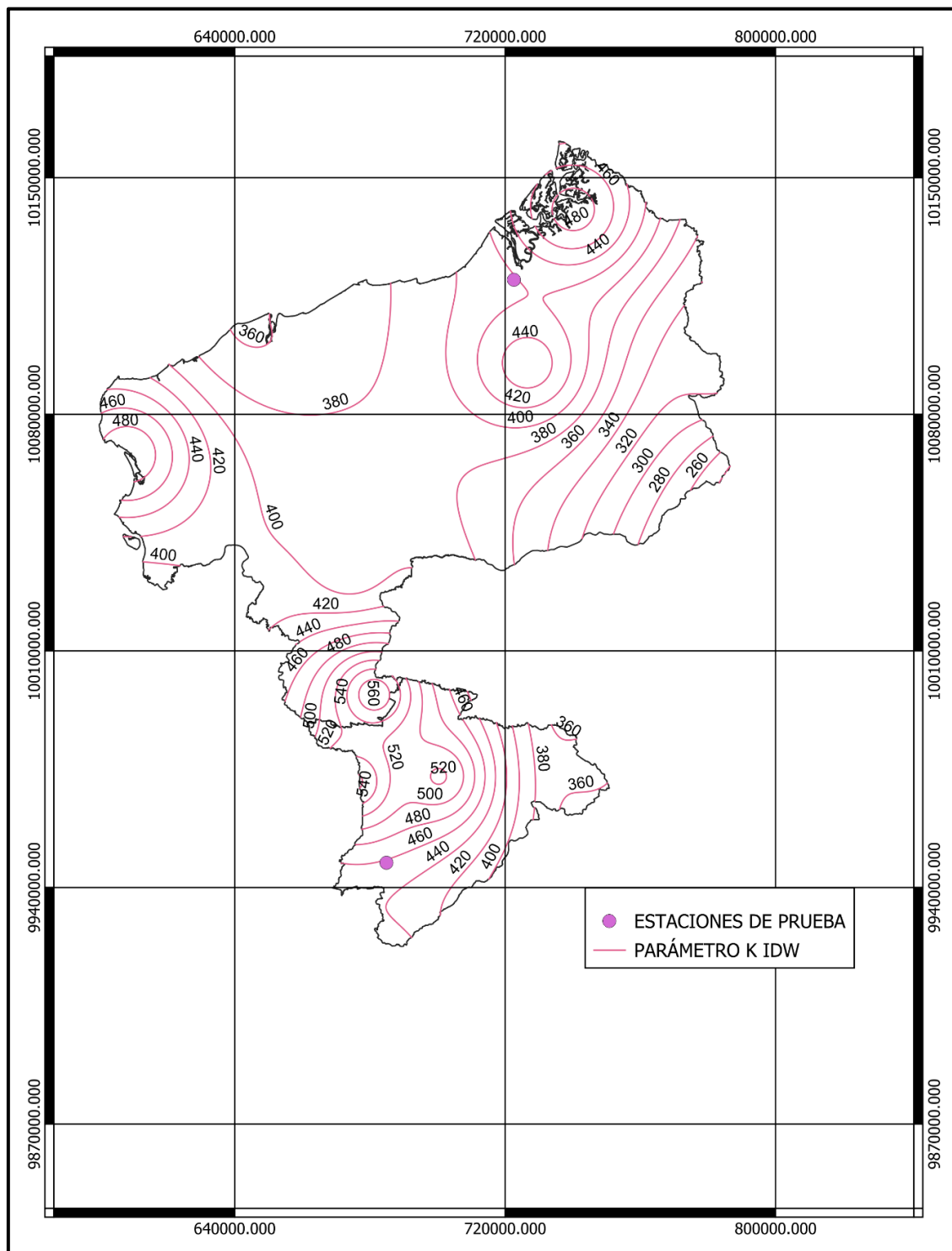


Ilustración 37: Mapa de isolíneas del parámetro K por IDW, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

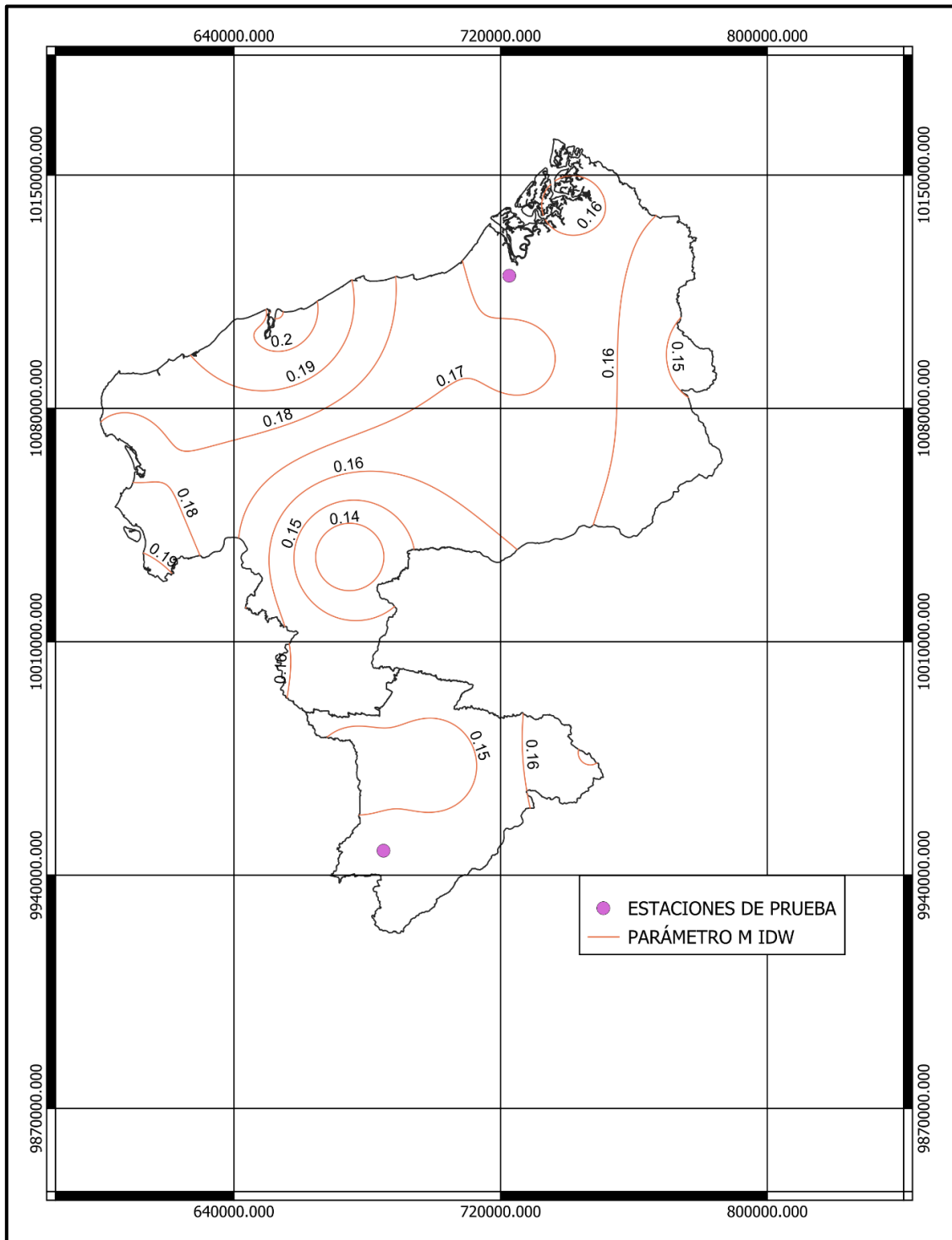


Ilustración 38: Mapa de isolíneas del parámetro M por IDW, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.1.2.2 Método Kriging Ordinary Proceso 1.

En las ilustraciones 39 y 40 se muestran la regionalización de los parámetros k y m y mientras que las ilustraciones 41 y 42 los gráficos de isolíneas.

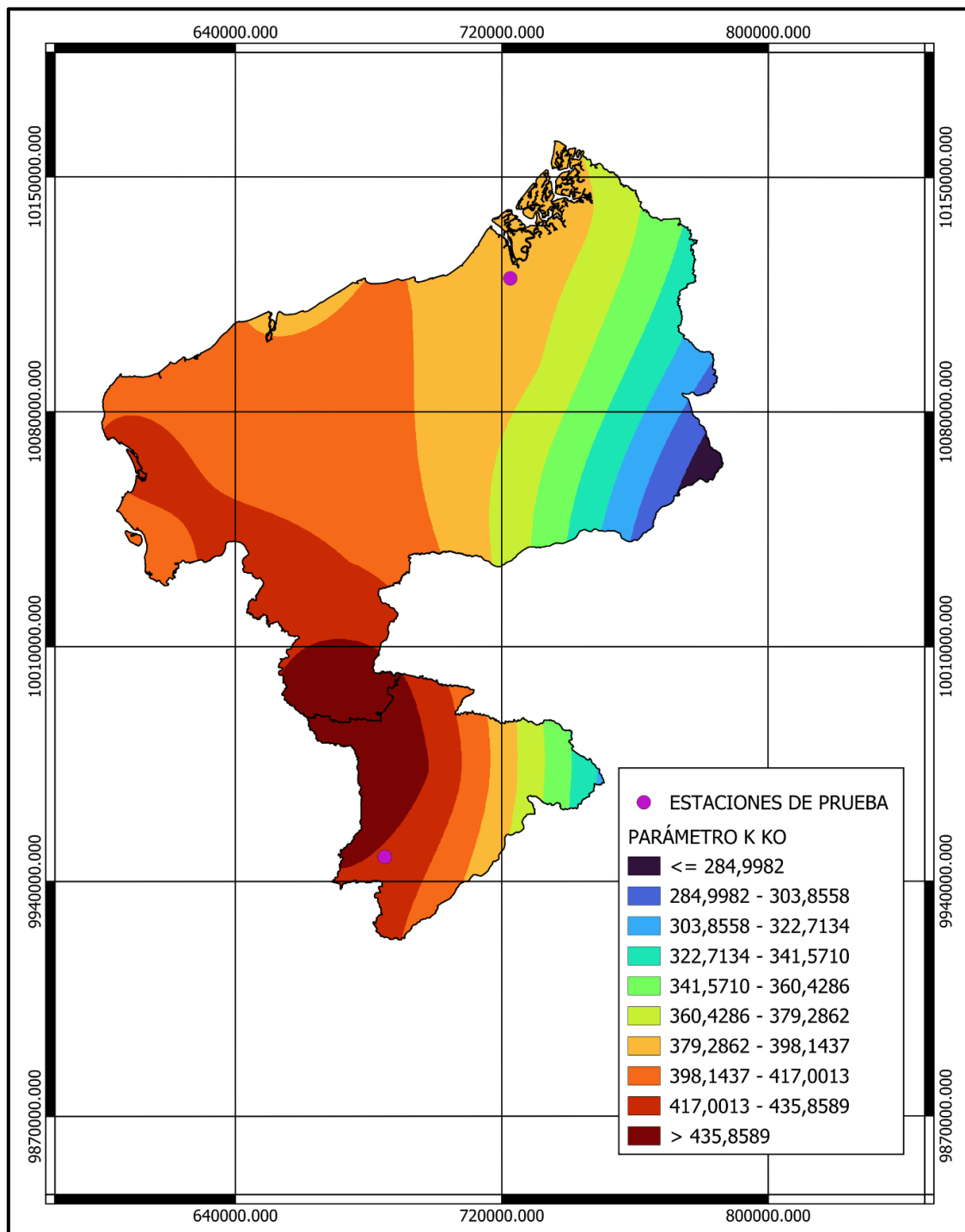


Ilustración 39: Mapa de regionalización del parámetro k por KO, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

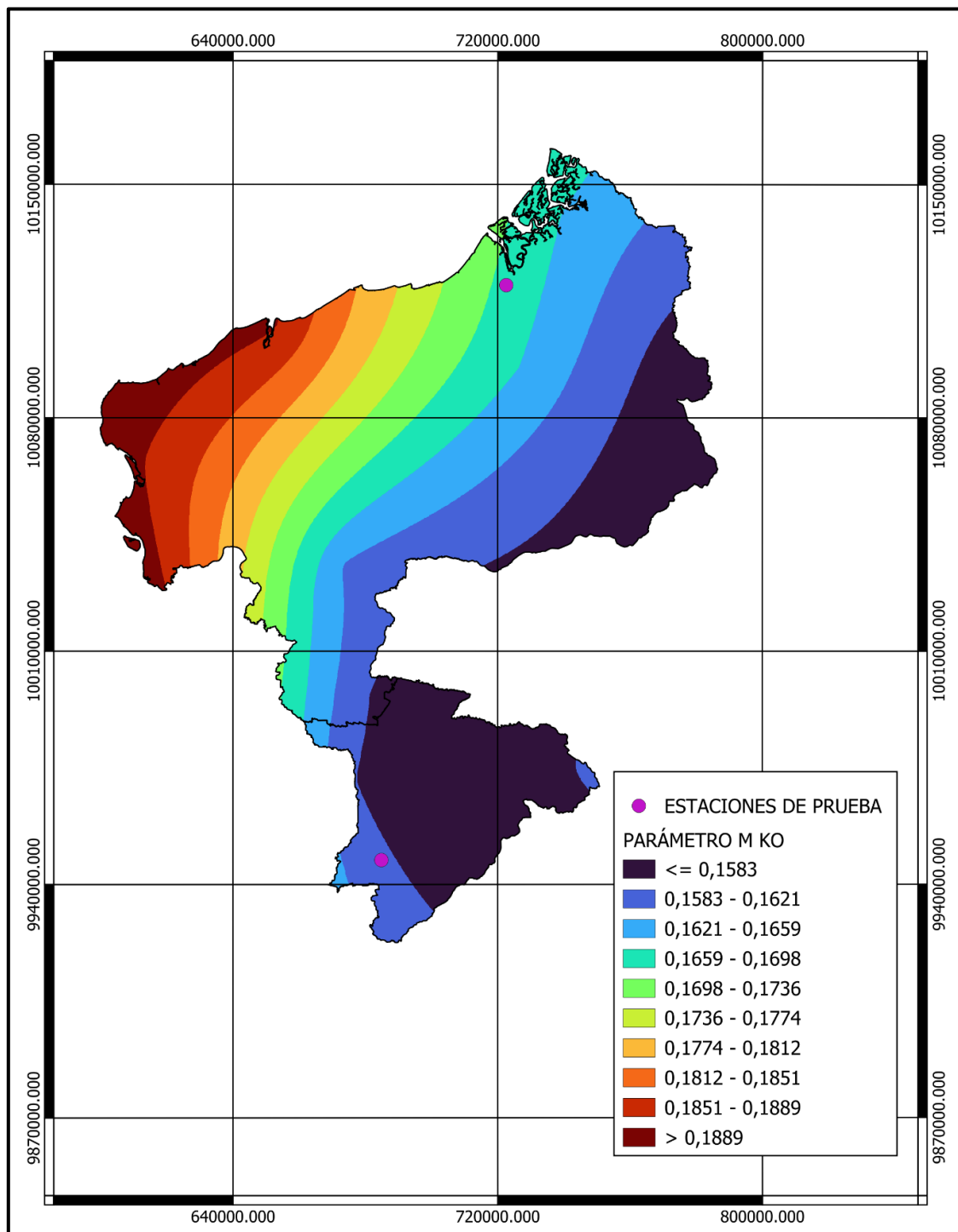


Ilustración 40: Mapa de regionalización del parámetro M por KO, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

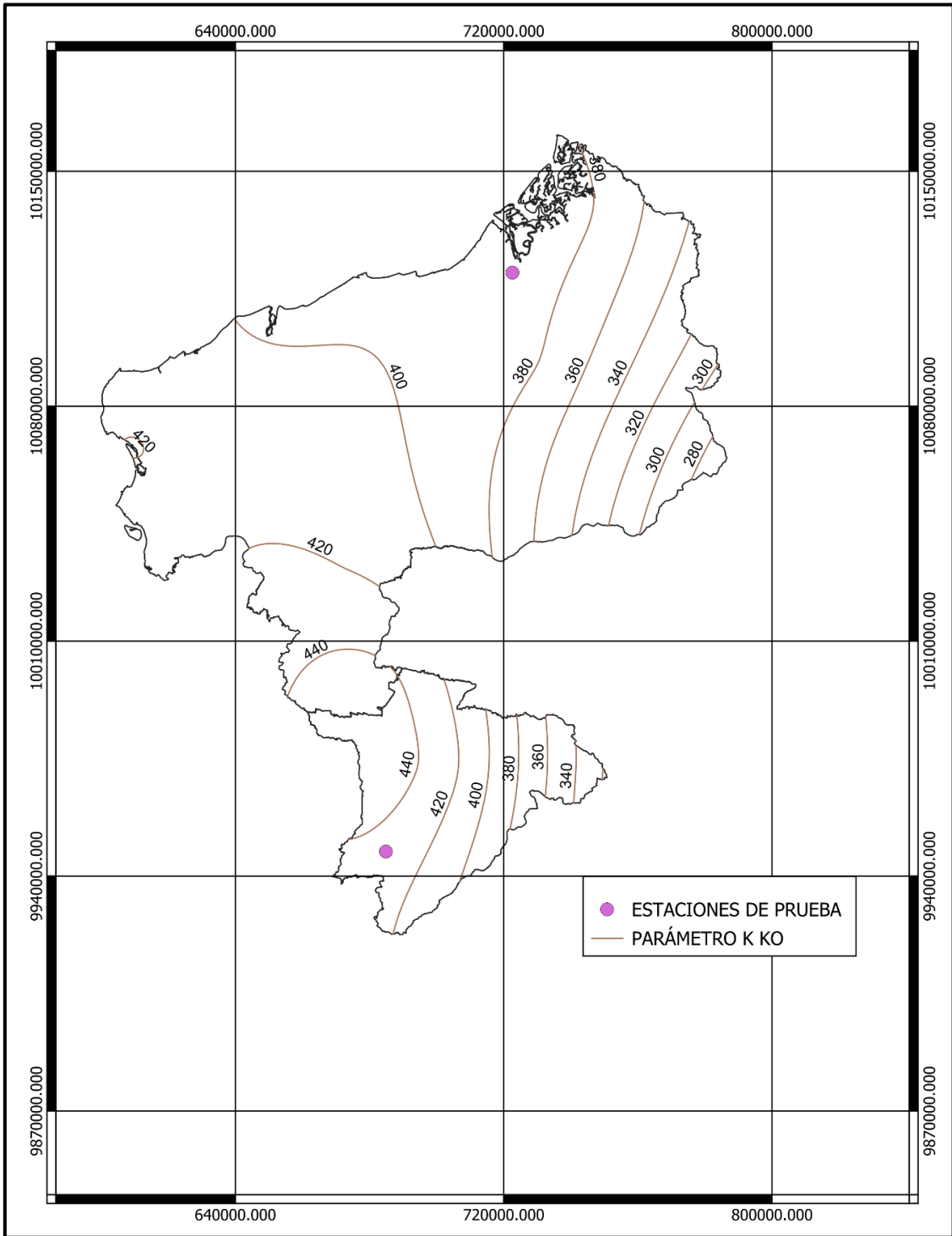


Ilustración 41: Mapa de isolíneas del parámetro K por KO, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

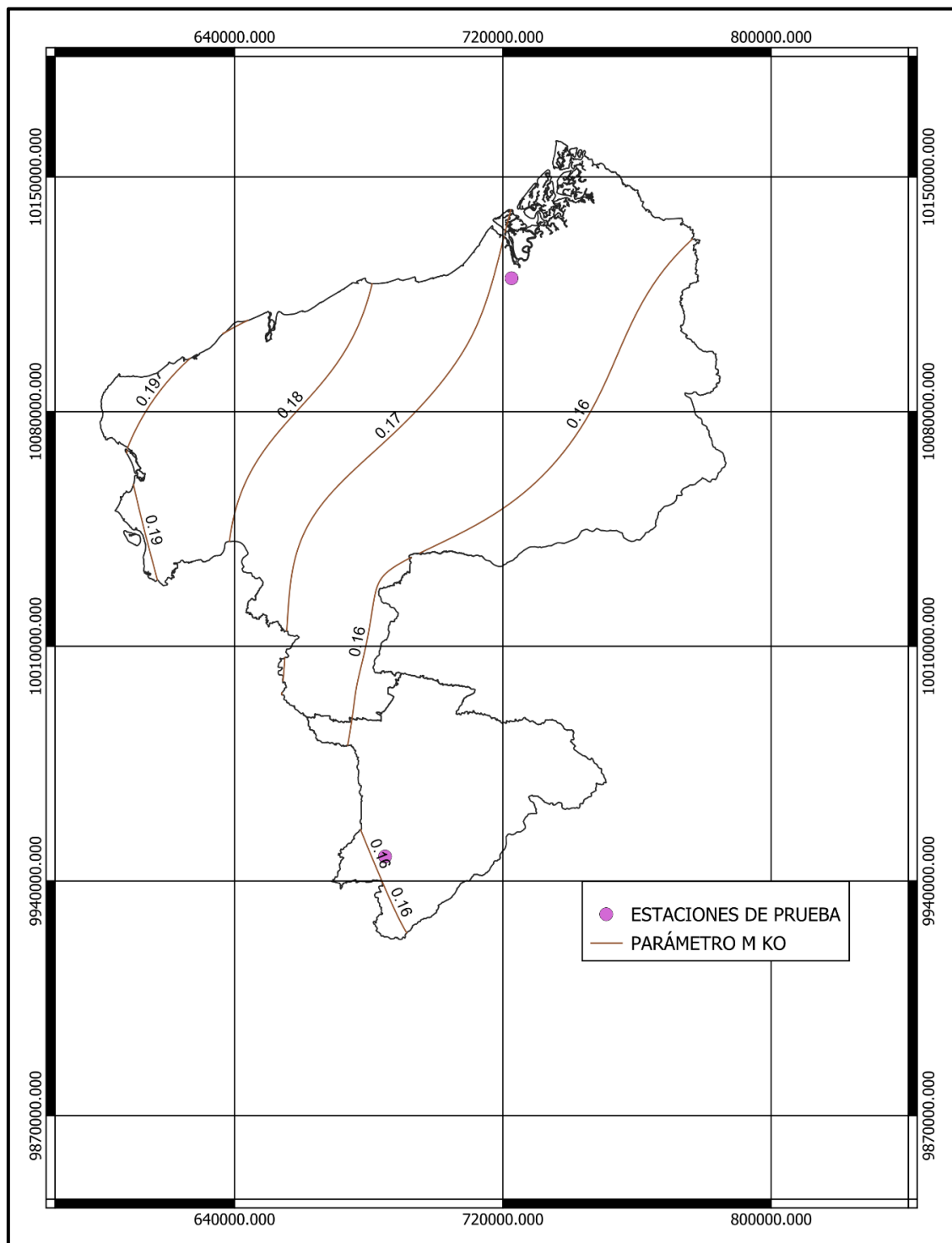


Ilustración 42: Mapa de isolíneas del parámetro M por KO, proceso 1

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.1.3 Error Relativo del Proceso 1.

En las siguientes tablas se muestran los porcentajes de error para los parámetros k y m, según sus métodos de interpolación.

Tabla 45: Porcentaje de error obtenido para el método IDW proceso 1

IDW	ESTACION DE PRUEBA	K	M
	225	3,9%	6,7%
	26	8,76%	1,1%

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 46: Porcentaje de error obtenido para el método KO proceso 1

KRIGING	ESTACION DE PRUEBA	K	M
	225	2,9%	6,33%
	26	13,44%	3,06%

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.2 Proceso 2

En este proceso se trabajaron también con 40 estaciones estudiadas, solo el 32 de ellas serán las hábiles para este estudio, el 28,1% tienen 40 o más años con registros completos, un 15,6% cuentan con 30 o más años, el 15,6% con 20 años o más y finalmente un 40,6 % tienen entre 10 y 19 años de información completa.

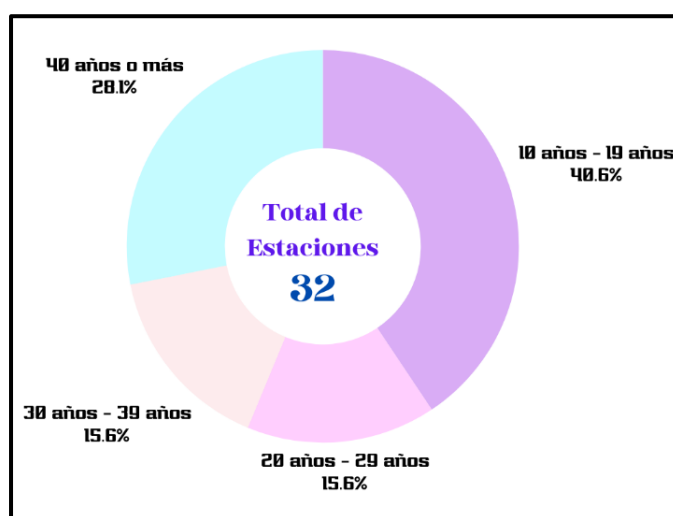


Ilustración 43: Gráfica porcentual de las estaciones completas

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 47: Coordenadas planas de las estaciones y más.

ESTACION	NOMBRE	PROVINCIA	ESTE	NORTE	AÑOS
M0001	INGUINCHO	IMBABURA	789319,1681	10028583,2	37
M0002	LA TOLA	PICHINCHA	793125,6437	9974612,504	34
M0006	PICHILINGUE	LOS RIOS	671167,3393	9878372,678	43
M0009	LA VICTORIA INERHI	PICHINCHA	811632,7591	9993360,219	16
M0022	TABACUNDO	PICHINCHA	807795,4544	10005532,98	16
M0024	QUITO INAMHI-IÑAQUITO	PICHINCHA	780131,5114	9981560,42	39
M0025	LA CONCORDIA	ESMERALDAS	681248,1947	9997051,333	43
M0026	PUERTO ILA	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	684859,8079	9947353,132	43
M0027	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	700326,2822	9972845,242	17
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	PICHINCHA	779946,2206	9984510,773	16
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	ESMERALDAS	648358,3869	10108717,61	14
M0102	EL ANGÉL	CARCHI	840210,8729	10069334,08	43
M0105	OTAVALO	IMBABURA	806121,752	10026926,86	43
M0106	LITA	IMBABURA	783844,0448	10096042,04	18
M0107	CAHUASQUI - FAO	IMBABURA	810444,3269	10057329,07	29
M0116	CHIRIBOGA	PICHINCHA	746874,4793	9976709,716	13
M0122	PILALO	COTOPAXI	723122,0721	9895638,214	30
M0123	EL CORAZÓN	COTOPAXI	714141,3394	9874599,858	43
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	COTOPAXI	695231,6398	9898663,59	40
M0153	MUISNE	ESMERALDAS	608553,9761	10067985,92	35
M0154	CAYAPAS	ESMERALDAS	726776,5214	10094870,68	41
M0156	QUININDÉ	ESMERALDAS	674349,9564	10035321,5	21
M0160	EL CARMEN	MANABI	675062,0541	9971281,993	26
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	MANABI	607223,7225	9926579,142	43
M0163	BOYACÁ	MANABI	591460,4864	9936899,208	12
M0167	JAMA	MANABI	581819,7883	9978229,916	29
M0168	PEDERNALES-MANABI	MANABI	605097,7581	10006448,46	15
M0224	SAN LORENZO	ESMERALDAS	740167,1477	10140289,33	18
M0225	BORBÓN	ESMERALDAS	722555,8854	10119814,48	11
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	ESMERALDAS	651851,5596	10108934	14
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	LOS RIOS	683054,827	9911354,914	12
M1094	TOMALON- TABACUNDO	PICHINCHA	807981,1952	10003688,66	24

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.2.1 Prueba de Datos Atípicos.

En la tabla 48 se presentan las estaciones que fueron revisadas y corregidas para asegurar mejor precisión y coherencia en el conjunto de datos utilizados en el estudio.

Las estaciones mencionadas tienen un rango de años de observación que va desde 16 hasta 43 años, lo que permitió una corrección exhaustiva de los valores atípicos.

Tabla 48: Estaciones con ajustes por Outlier

ESTACION	NOMBRE	PROVINCIA	AÑOS
M0001	INGUINCHO	IMBABURA	37
M0022	TABACUNDO	PICHINCHA	16
M0025	LA CONCORDIA	ESMERALDAS	43
M0026	PUERTO ILA	SANTO DOMINGO	43
M0102	EL ANGÉL	CARCHI	43
M0107	CAHUASQUI - FAO	IMBABURA	29
M0153	MUISNE	ESMERALDAS	35
M0154	CAYAPAS	ESMERALDAS	41
M0156	QUININDÉ	ESMERALDAS	21
M1094	TOMALON-TABACUNDO	PICHINCHA	24

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.2.2 Distribuciones en Hydrognomon Test de Kolmogorov Smirnov.

En este análisis, Hydrognomon identificó las distribuciones que mejor se ajusta a los datos de precipitación, la tabla 49 presenta las distribuciones seleccionadas con mejor ajuste para las estaciones de estudio, junto con su porcentaje de ajuste.

Tabla 49: Estaciones con mejor ajuste de distribuciones en hidrognomon.

ESTACION	NOMBRE	PROVINCIA	DISTRIBUCION	PORCENTAJE
M0001	INGUINCHO	IMBABURA	Log Pearson III	97,86%
M0002	LA TOLA	PICHINCHA	Log Pearson III	97,17%
M0006	PICHILINGUE	LOS RIOS	EV3-Min (Weibull)	99,65%
M0009	LA VICTORIA INERHI	PICHINCHA	Pareto (L-Moments)	99,95%
M0022	TABACUNDO	PICHINCHA	GEV-Max	99,85%
M0024	QUITO INAMHI- IÑAQUITO	PICHINCHA	LogNormal	99,86%
M0025	LA CONCORDIA	ESMERALDAS	Log Pearson III	99,90%
M0026	PUERTO ILA	SANTO DOMINGO	Pareto (L-Moments)	99,08%
M0027	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO	GEV-Min (L- Moments)	99,94%
M0055	QUITO AEROPUERTO- DAC	PICHINCHA	Pareto (L-Moments)	99,82%
M0058	ESMERALDAS-TACHINA	ESMERALDAS	Pareto (L-Moments)	100,00%
M0102	EL ANGÉL	CARCHI	GEV-Min	99,98%
M0105	OTAVALO	IMBABURA	GEV-Min (L- Moments)	95,59%
M0106	LITA	IMBABURA	Pareto	99,96%
M0107	CAHUASQUI - FAO	IMBABURA	Gamma	99,76%
M0116	CHIRIBOGA	PICHINCHA	GEV-Min (L- Moments)	100,00%
M0122	PILALO	COTOPAXI	Pareto (L-Moments)	94,68%
M0123	EL CORAZÓN	COTOPAXI	GEV-Max (kappa specified)	99,85%
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	COTOPAXI	GEV-Max (L- Moments)	99,93%
M0153	MUISNE	ESMERALDAS	GEV-Min (L- Moments)	99,64%
M0154	CAYAPAS	ESMERALDAS	GEV-Max (L- Moments)	94,09%
M0156	QUININDÉ	ESMERALDAS	GEV-Min (L- Moments)	99,95%
M0160	EL CARMEN	MANABI	Log Pearson III	98,55%
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	MANABI	GEV-Min (L- Moments)	99,22%

M0163	BOYACÁ	MANABI	Pareto (L-Moments)	99,76%
M0167	JAMA	MANABI	GEV-Max (L-Moments)	98,47%
M0168	PEDERNALES-MANABI	MANABI	GEV-Min	100,00%
M0224	SAN LORENZO	ESMERALDAS	LogNormal	100,00%
M0225	BORBÓN	ESMERALDAS	LogNormal	100,00%
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	ESMERALDAS	Normal (L-Moments)	96,81%
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	LOS RIOS	Pareto	99,99%
M1094	TOMALON- TABACUNDO	PICHINCHA	GEV-Min (L-Moments)	99,27%

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Las distribuciones GEV-Min (L - Moments) y Pareto (L - Moments) son las más recurrentes, demostrando una alta precisión en el ajuste de los datos de precipitación, con porcentajes que alcanzan el 100% en ciertas estaciones. Además, distribuciones como Log Pearson III y LogNormal también muestran un excelente desempeño, con porcentaje de ajuste al 97%. Por su mejor ajuste y la más repetitiva, la distribución GEV-Min (L- Moments), ha sido elegida como la más adecuada para este proceso.

4.2.3 Determinación de las Curvas IDF.

4.2.3.1 Precipitación Máxima con GEV Min (L-Moments).

La evaluación de los porcentajes de ajuste para la distribución GEV-Min (L-Moments), tabla 50, demuestra su efectividad en la representación de los datos de precipitación, los resultados indican que esta distribución ofrece un ajuste superior en comparación con otras alternativas, con porcentaje de ajuste que superan el 80%. Esta precisión valida que dicha distribución asegura que las curvas IDF derivadas sean fiables y representativas para la evaluación.

Tabla 50: Resultados en porcentajes para GEV-Min (L-Moments).

ESTACION	NOMBRE	PORCENTAJE
M0001	INGUINCHO	89,97%
M0002	LA TOLA	85,20%
M0006	PICHILINGUE	98,99%
M0009	LA VICTORIA INERHI	99,59%
M0022	TABACUNDO	99,28%
M0024	QUITO INAMHI-IÑAQUITO	99,68%
M0025	LA CONCORDIA	98,61%
M0026	PUERTO ILA	95,47%
M0027	SANTO DOMINGO	99,94%
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	99,51%
M0058	ESMERALDAS-TACHINA	99,94%
M0102	EL ANGÉL	99,97%
M0105	OTAVALO	95,59%
M0106	LITA	99,53%
M0107	CAHUASQUI - FAO	99,24%
M0116	CHIRIBOGA	100,00%
M0122	PILALO	86,19%
M0123	EL CORAZÓN	80,07%
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	99,24%
M0153	MUISNE	99,64%
M0154	CAYAPAS	87,14%
M0156	QUININDÉ	99,95%
M0160	EL CARMEN	85,48%
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	99,22%
M0163	BOYACÁ	95,66%
M0167	JAMA	98,13%
M0168	PEDERNALES-MANABI	99,99%
M0224	SAN LORENZO	99,85%
M0225	BORBÓN	99,10%
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	83,11%
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	99,68%
M1094	TOMALON- TABACUNDO	99,27%

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.2.3.2 Parámetros k , m y n .

Al igual que en el proceso 1, en este proceso se realizaron los cálculos para determinar los parámetros k , m y n se mediante regresión lineal múltiple en cada estación como se muestra en la tabla 51.

Tabla 51: Parámetros k , m y n para la regionalización

ESTACION	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	PROVINCIA	K	m	n
M0001	INGUINCHO	0 15 30 N	78 24 03 W	IMBABURA	189,2906	0,1530	0,6164
M0002	LA TOLA	0 13 46 S	78 22 0 W	PICHINCHA	191,6266	0,1206	0,6164
M0006	PICHILINGUE	1 06 0 S	79 27 42 W	LOS RIOS	545,3325	0,0831	0,6164
M0009	LA VICTORIA INERHI	0 03 36 S	78 12 + 2 W	PICHINCHA	143,2355	0,1517	0,6164
M0022	TABACUNDO	0 03 0 N	78 14 06 W	PICHINCHA	144,7414	0,0883	0,6164
M0024	QUITO INAMHI- IÑAQUITO	0 10 0 S	78 29 0 W	PICHINCHA	192,2152	0,1272	0,6164
M0025	LA CONCORDIA	0 01 36 S	79 22 17 W	ESMERALDAS	602,0994	0,1144	0,6164
M0026	PUERTO ILA	0 28 34 S	79 20 20 W	SANTO DOMINGO	516,5145	0,1337	0,6164
M0027	SANTO DOMINGO	0 14 44 S	79 12 0 W	PICHINCHA	542,0570	0,1064	0,6164
M0055	QUITO AEROPUERTO- DAC	0 08 24 S	78 29 06 W	PICHINCHA	170,6898	0,1514	0,6164
M0058	ESMERALDAS-TACHINA	0 59 0 N	79 40 0 W	ESMERALDAS	364,6598	0,1423	0,6164
M0102	EL ANGEL	0 37 35 N	77 56 38 W	CARCHI	156,1210	0,0936	0,6164
M0105	OTAVALO	0 14 36 N	78 15 0 W	IMBABURA	163,3404	0,0941	0,6164
M0106	LITA	0 52 05 N	78 26 59 W	IMBABURA	356,5516	0,1037	0,6164
M0107	CAHUASQUI - FAO	0 31 05 N	78 12 40 W	IMBABURA	154,4815	0,0839	0,6164
M0116	CHIRIBOGA	0 12 38 S	78 46 55 W	PICHINCHA	371,0421	0,1560	0,6164
M0122	PILALO	0 56 37 S	78 59 42 W	COTOPAXI	326,5646	0,1538	0,6164
M0123	EL CORAZÓN	1 08 02 S	79 04 32 W	COTOPAXI	374,1641	0,1926	0,6164
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	0 54 59 S	79 14 44 W	COTOPAXI	530,0651	0,1462	0,6164
M0153	MUISNE	0 36 54 N	80 01 28 W	ESMERALDAS	492,2359	0,1584	0,6164
M0154	CAYAPAS	0 51 28 N	78 57 44 W	ESMERALDAS	456,5517	0,1493	0,6164
M0156	QUININDÉ	0 19 10 N	79 26 0 W	ESMERALDAS	447,8680	0,0680	0,6164
M0160	EL CARMEN	0 15 35 S	79 25 37 W	MANABI	583,8142	0,1131	0,6164
M0162	CHONE U. CATÓLICA	0 39 51 S	80 02 11 W	MANABI	404,4197	0,1414	0,6164
M0163	BOYACÁ	0 34 15 S	80 10 41 W	MANABI	329,9965	0,1275	0,6164
M0167	JAMA	0 11 49 S	80 15 53 W	MANABI	349,8925	0,1420	0,6164
M0168	PEDERNALES-MANABI	0 03 30 N	80 03 20 W	MANABI	348,8035	0,1901	0,6164
M0224	SAN LORENZO	1 16 06 N	78 50 30 W	ESMERALDAS	505,5027	0,1213	0,6164
M0225	BORBÓN	1 05 0 N	79 0 0 W	ESMERALDAS	390,6544	0,1653	0,6164
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	0 59 07 N	79 38 07 W	ESMERALDAS	397,7255	0,1530	0,6164
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	0 48 06 S	79 21 18 W	LOS RIOS	497,4763	0,1128	0,6164
M1094	TOMALON- TABACUNDO	0 02 0 N	78 14 0 W	PICHINCHA	123,1706	0,0967	0,6164

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Así mismo estos resultados fueron importados a QGIS, para realizar la interpolación y la comparación de resultados de los dos procesos.

Tabla 52: Coeficiente de correlación múltiple para los parámetros k , m y n .

ESTACION	NOMBRE	R	OBSERVACIÓN
M0001	INGUINCHO	0,9972	Se ajusta
M0002	LA TOLA	0,9972	Se ajusta
M0006	PICHILINGUE	0,9970	Se ajusta
M0009	LA VICTORIA INERHI	0,9970	Se ajusta
M0022	TABACUNDO	0,9967	Se ajusta
M0024	QUITO INAMHI-IÑAQUITO	0,9966	Se ajusta
M0025	LA CONCORDIA	0,9968	Se ajusta
M0026	PUERTO ILA	0,9966	Se ajusta
M0027	SANTO DOMINGO	0,9974	Se ajusta
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	0,9959	Se ajusta
M0058	ESMERALDAS - TACHINA	0,9931	Se ajusta
M0102	EL ANGÉL	0,9980	Se ajusta
M0105	OTAVALO	0,9979	Se ajusta
M0106	LITA	0,9974	Se ajusta
M0107	CAHUASQUI - FAO	0,9981	Se ajusta
M0116	CHIRIBOGA	0,9951	Se ajusta
M0122	PILALO	0,9931	Se ajusta
M0123	EL CORAZÓN	0,9941	Se ajusta
M0124	SAN JUAN - LA MANÁ	0,9962	Se ajusta
M0153	MUISNE	0,9958	Se ajusta
M0154	CAYAPAS	0,9964	Se ajusta
M0156	QUININDÉ	0,9981	Se ajusta
M0160	EL CARMEN	0,9977	Se ajusta
M0162	CHONE U. - CATÓLICA	0,9946	Se ajusta
M0163	BOYACÁ	0,9940	Se ajusta
M0167	JAMA	0,9936	Se ajusta
M0168	PEDERNALES-MANABI	0,9910	Se ajusta
M0224	SAN LORENZO	0,9960	Se ajusta
M0225	BORBÓN	0,9963	Se ajusta
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	0,9928	Se ajusta
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	0,9971	Se ajusta
M1094	TOMALON- TABACUNDO	0,9981	Se ajusta

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

En este proceso, los valores del coeficiente de correlación múltiple, de los parámetros k , m y n , expuestas en la tabla 52 son superiores a 0,98, esto indica que la correlación es excelente.

4.2.4 Regionalización de los Parámetros k , m y n .

En la regionalización de este proceso también se consideró el mismo procedimiento del proceso 1.

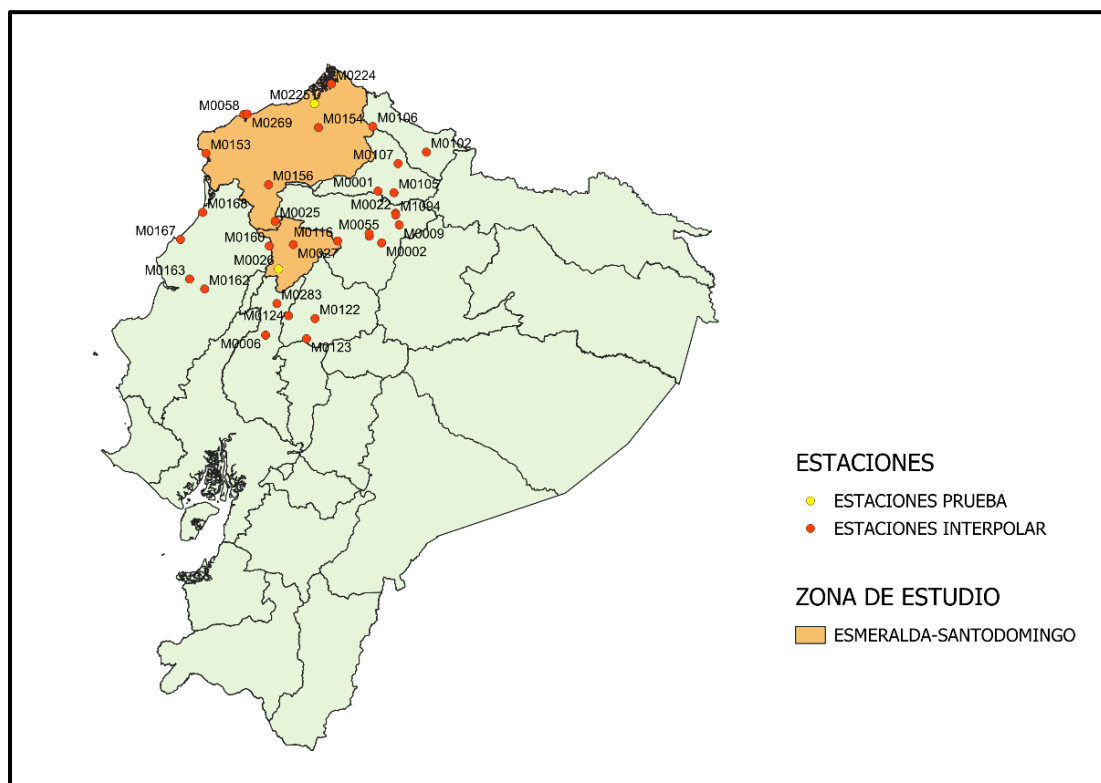


Ilustración 44: Ubicación de las estaciones de prueba del proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.2.4.1 Método IDW Proceso 2.

Los intervalos de los valores regionalizados de los parámetros k y m se muestran en los siguientes mapas de colores en la ilustración 45 y 46, adicional se presentan los mapas de isolíneas para cada parámetro en la ilustración 47 y 48. Estas graficas ayudan a facilitar la interpretación de los datos de manera más clara.

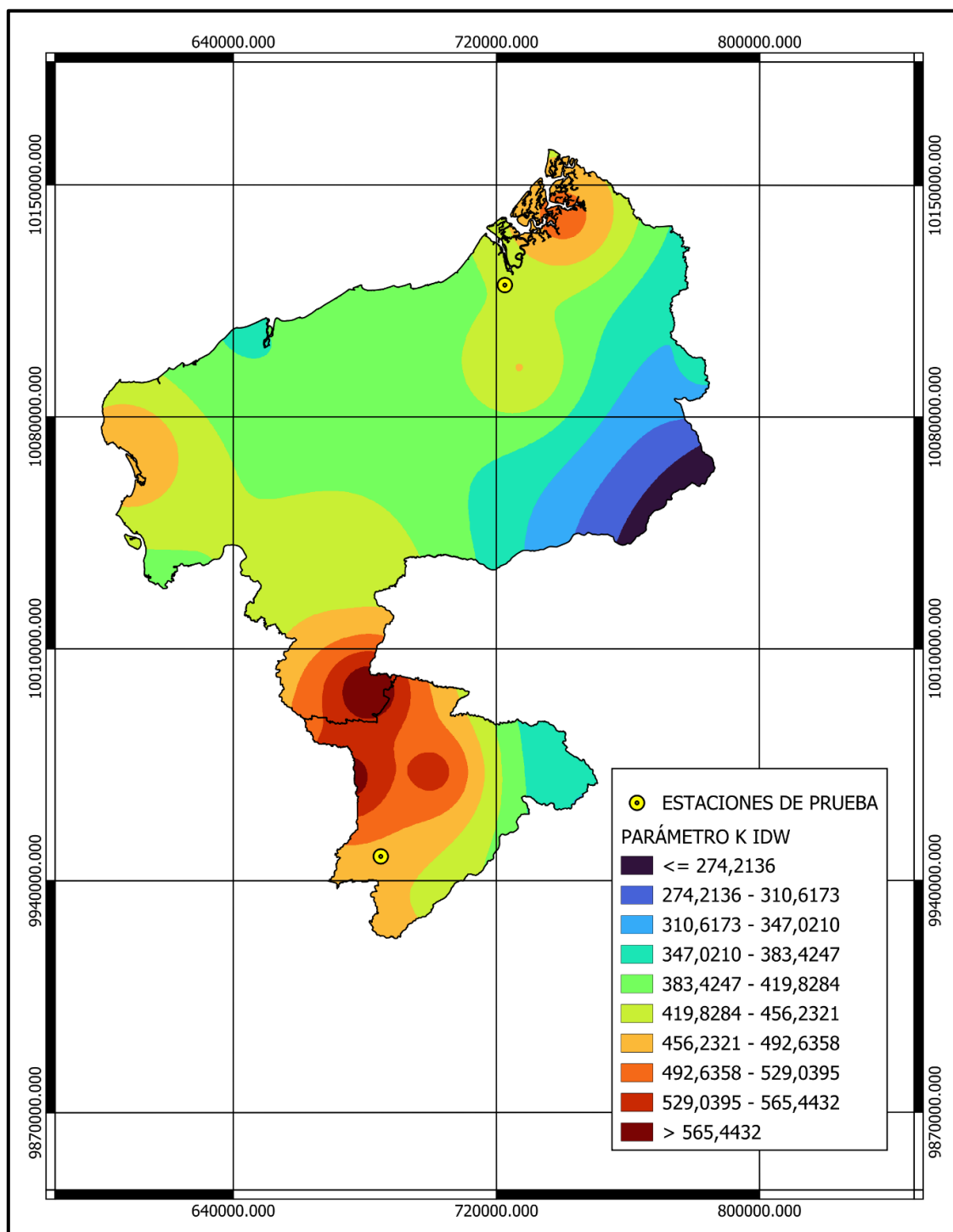


Ilustración 45: Mapa de regionalización del parámetro k por IDW, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

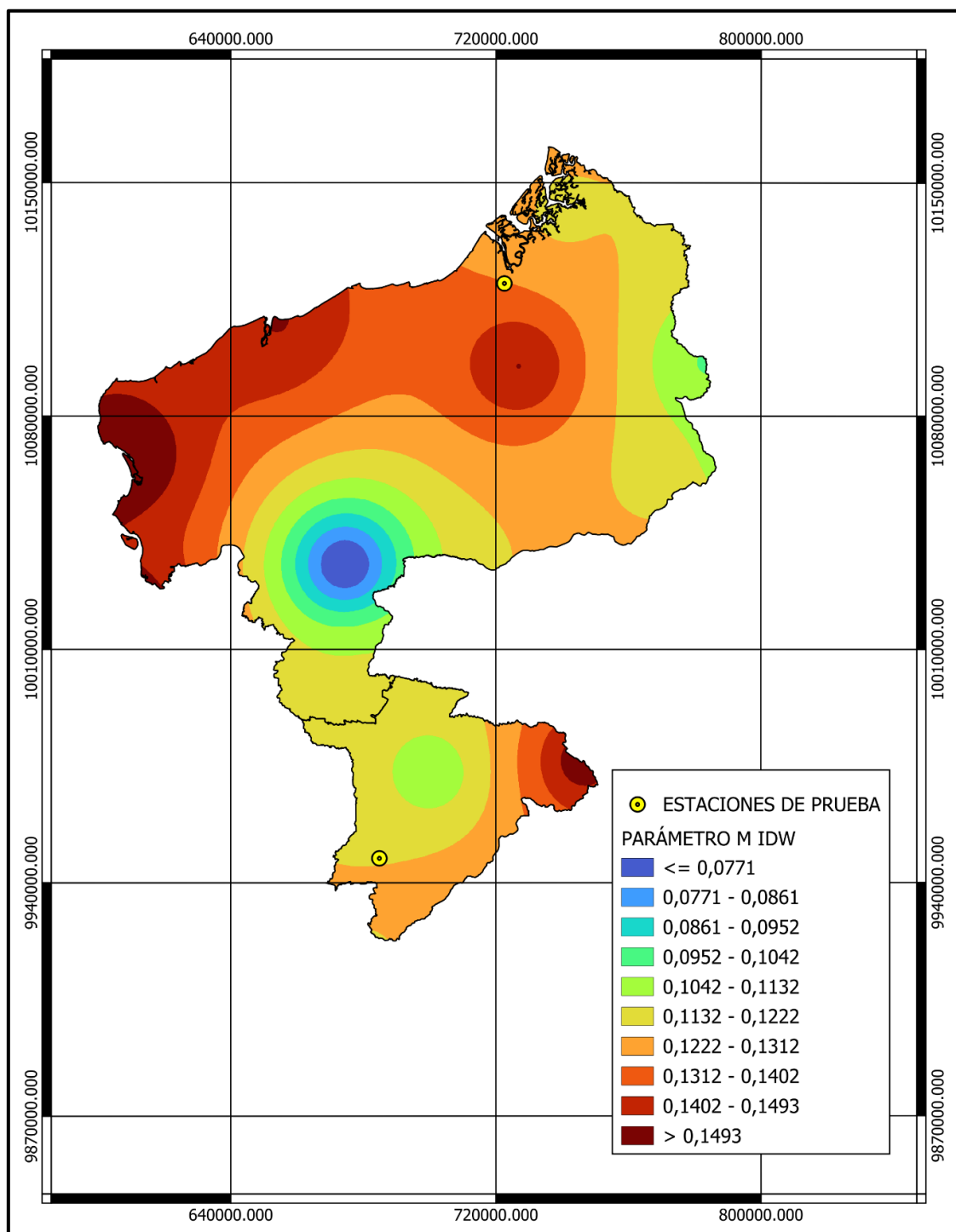


Ilustración 46: Mapa de regionalización del parámetro M por IDW, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

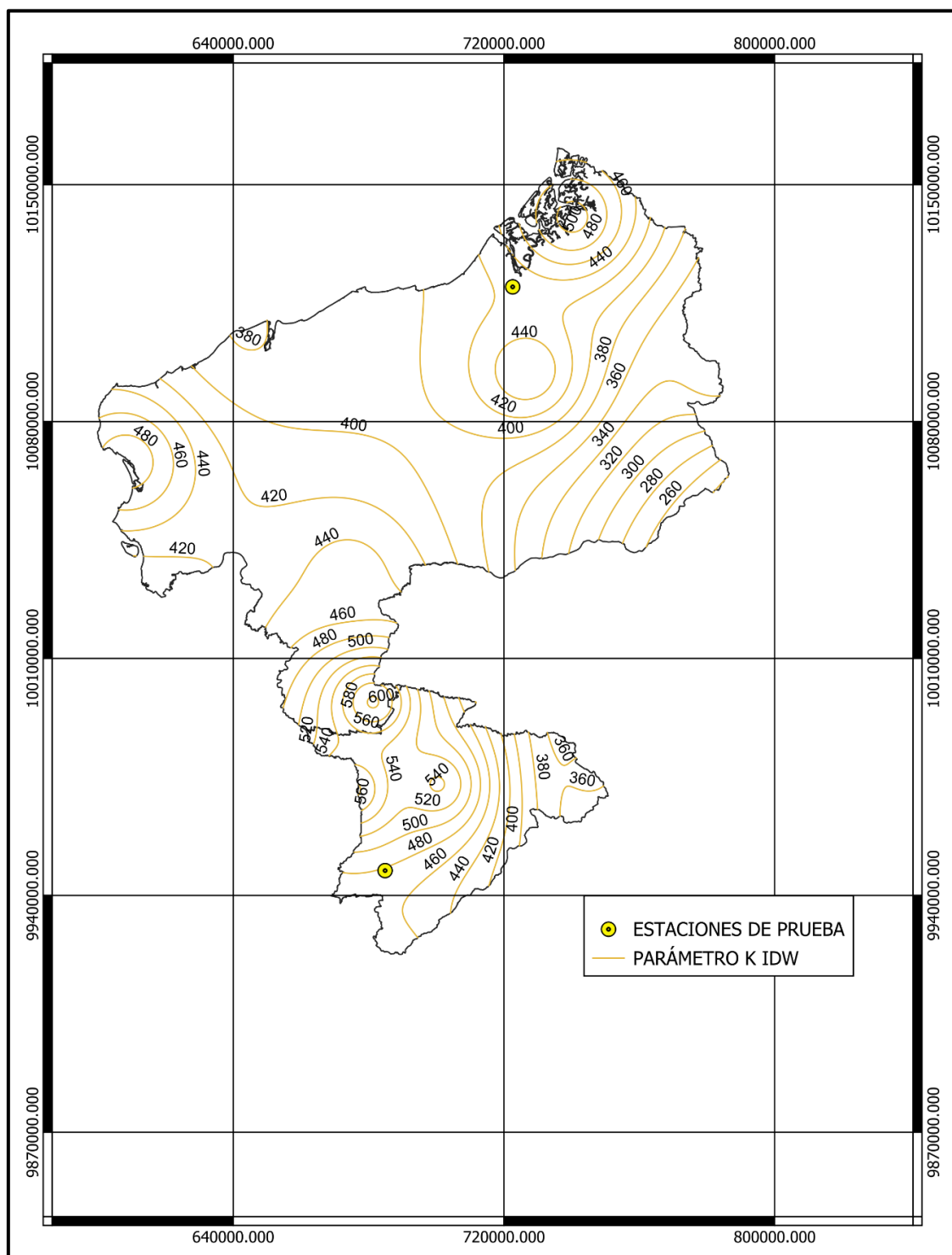


Ilustración 47: Mapa de isolíneas del parámetro K por IDW, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

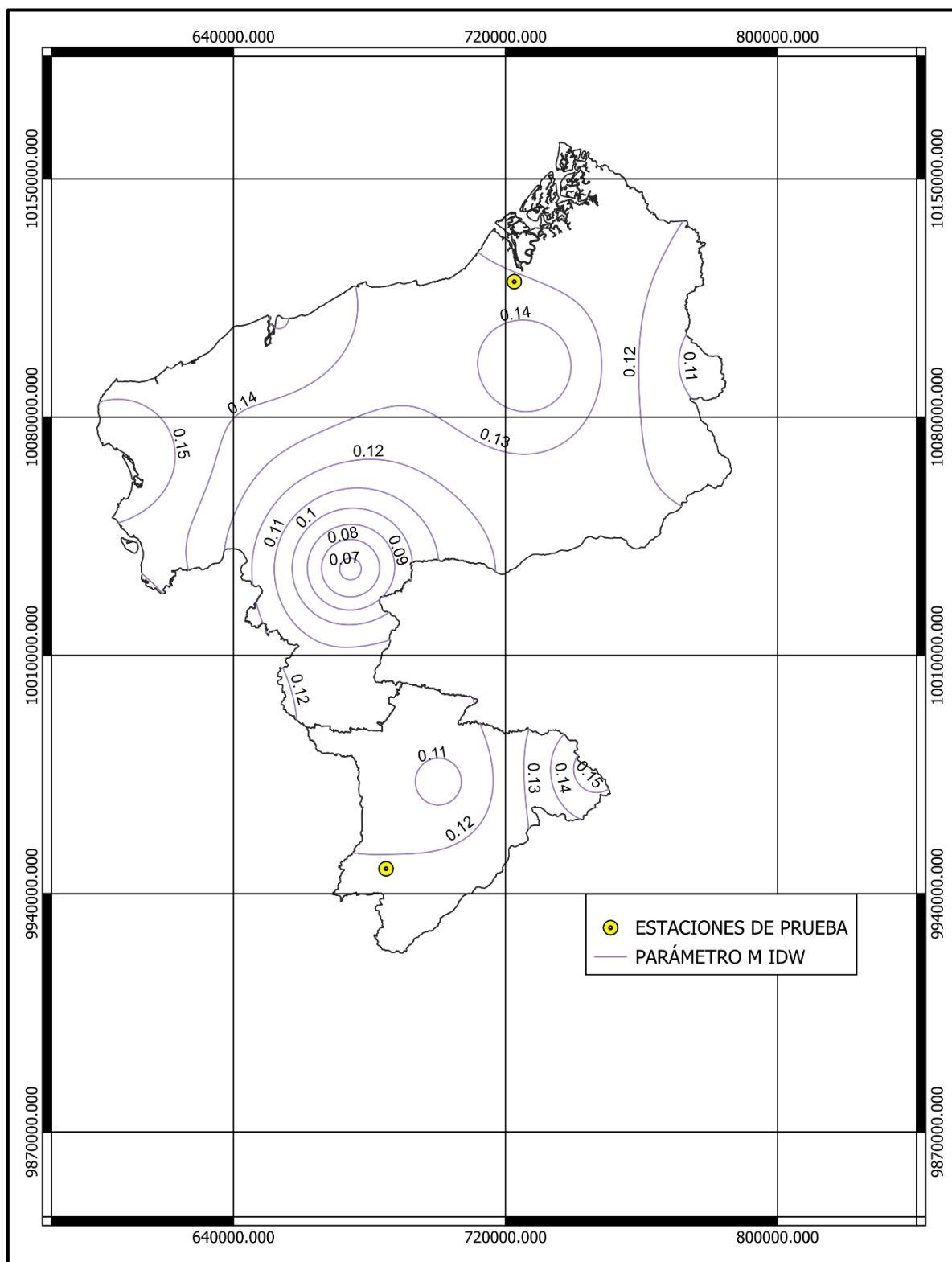


Ilustración 48: Mapa de isolíneas del parámetro M por IDW, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.2.4.2 Método KO Proceso 2.

En las ilustraciones 49 y 50 se muestran la regionalización de los parámetros k y m y mientras que las ilustraciones 51 y 52 los gráficos de isolíneas.

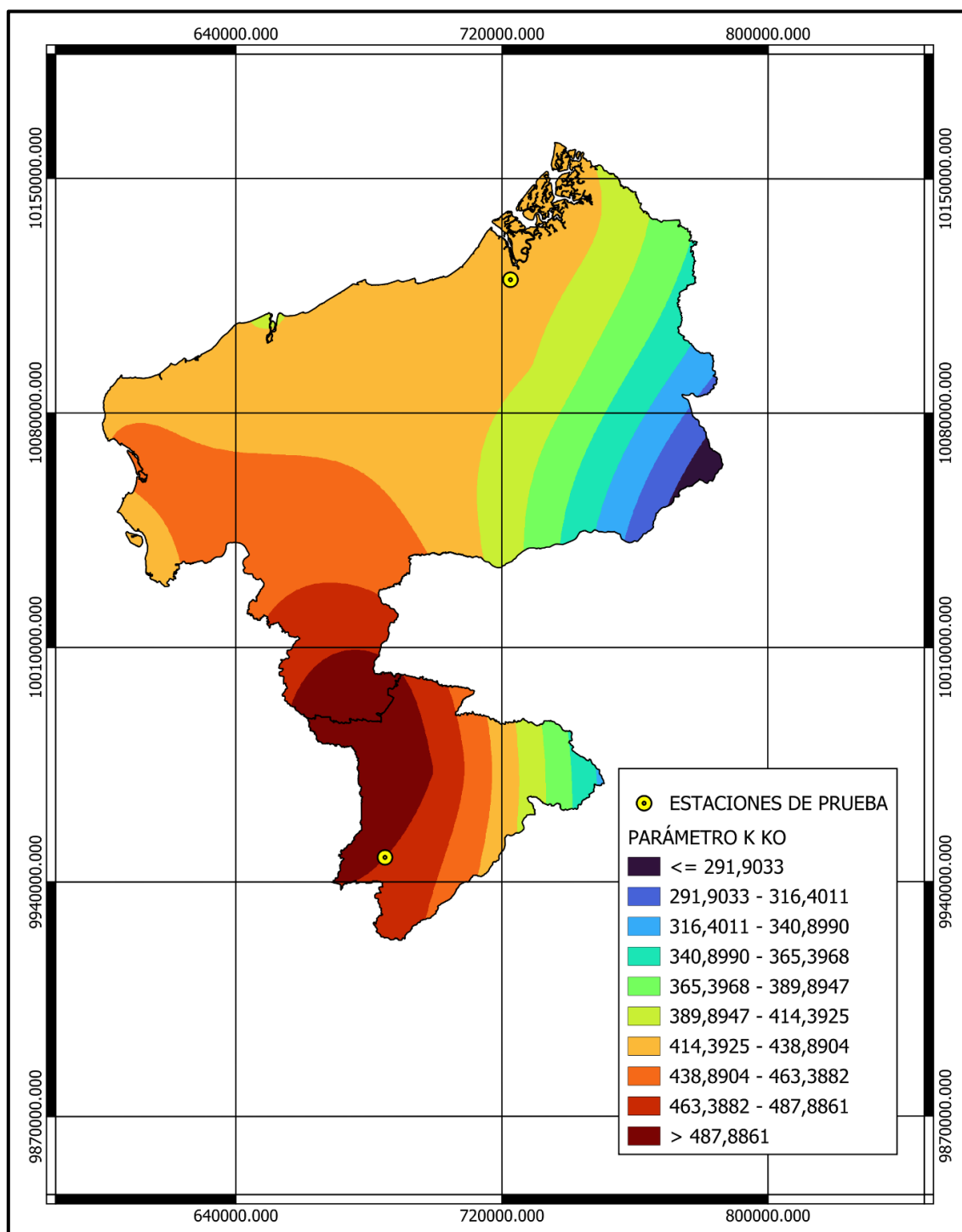


Ilustración 49: Mapa de regionalización del parámetro K por KO, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

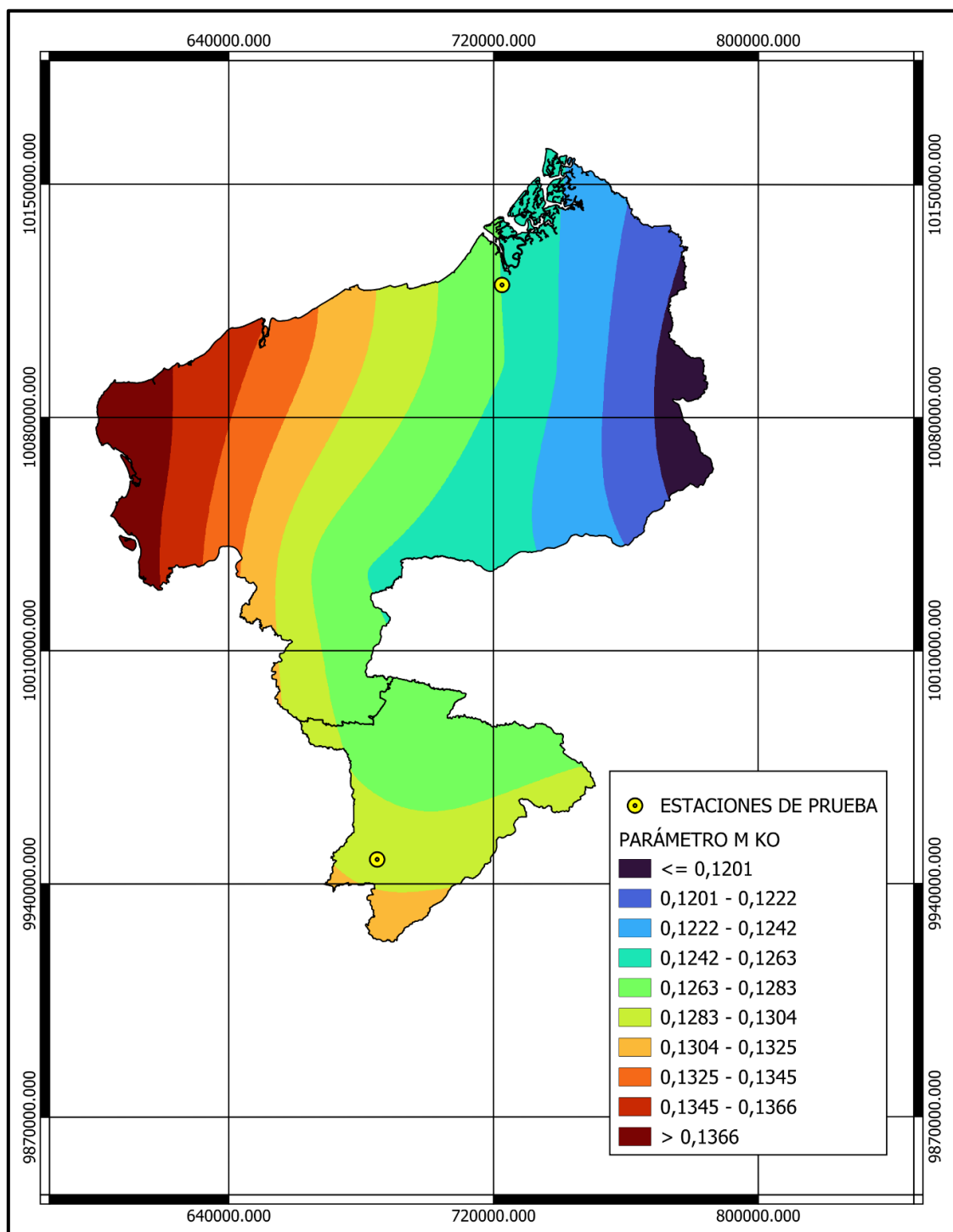


Ilustración 50: Mapa de regionalización del parámetro M por KO, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

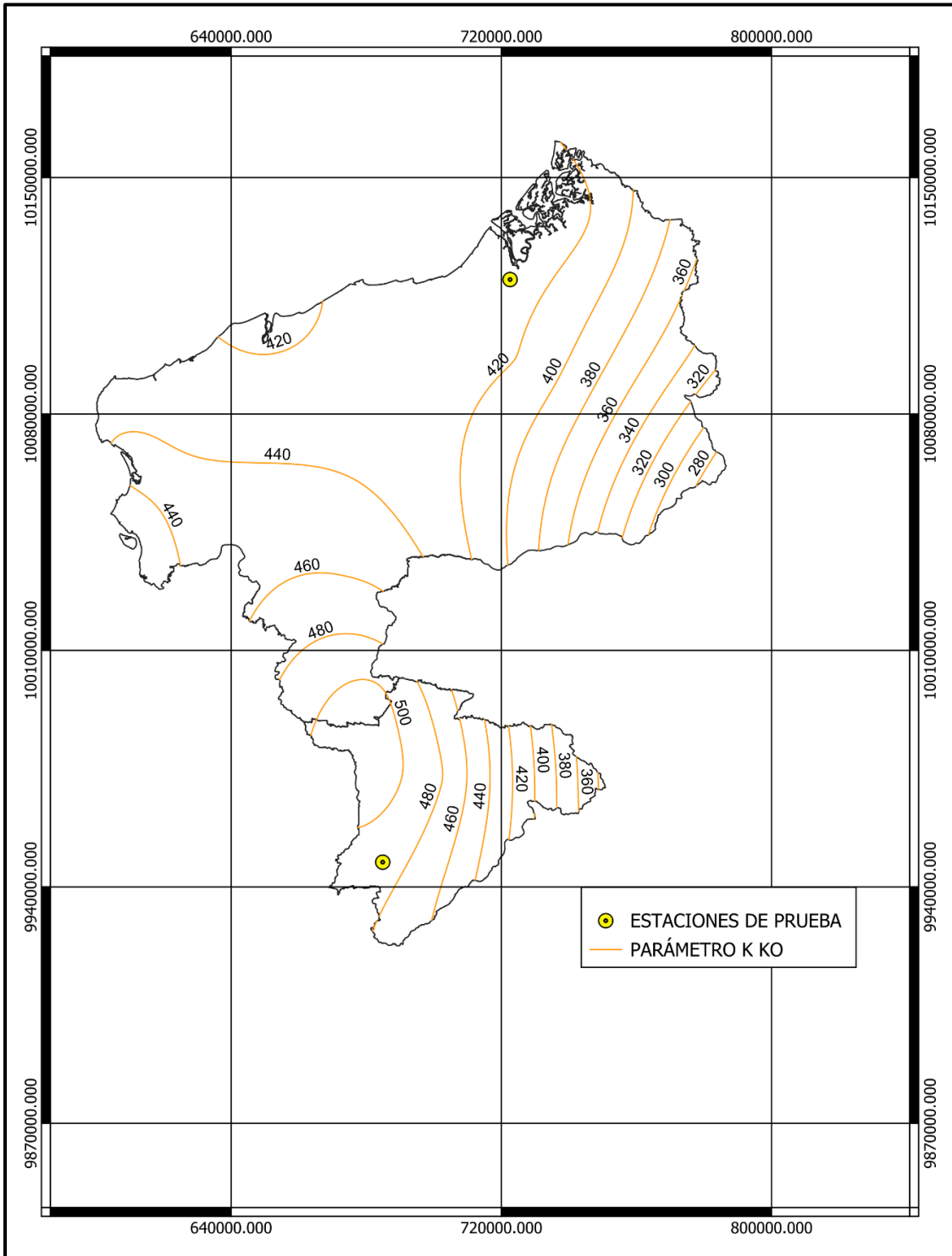


Ilustración 51: Mapa de isolíneas del parámetro K por KO, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

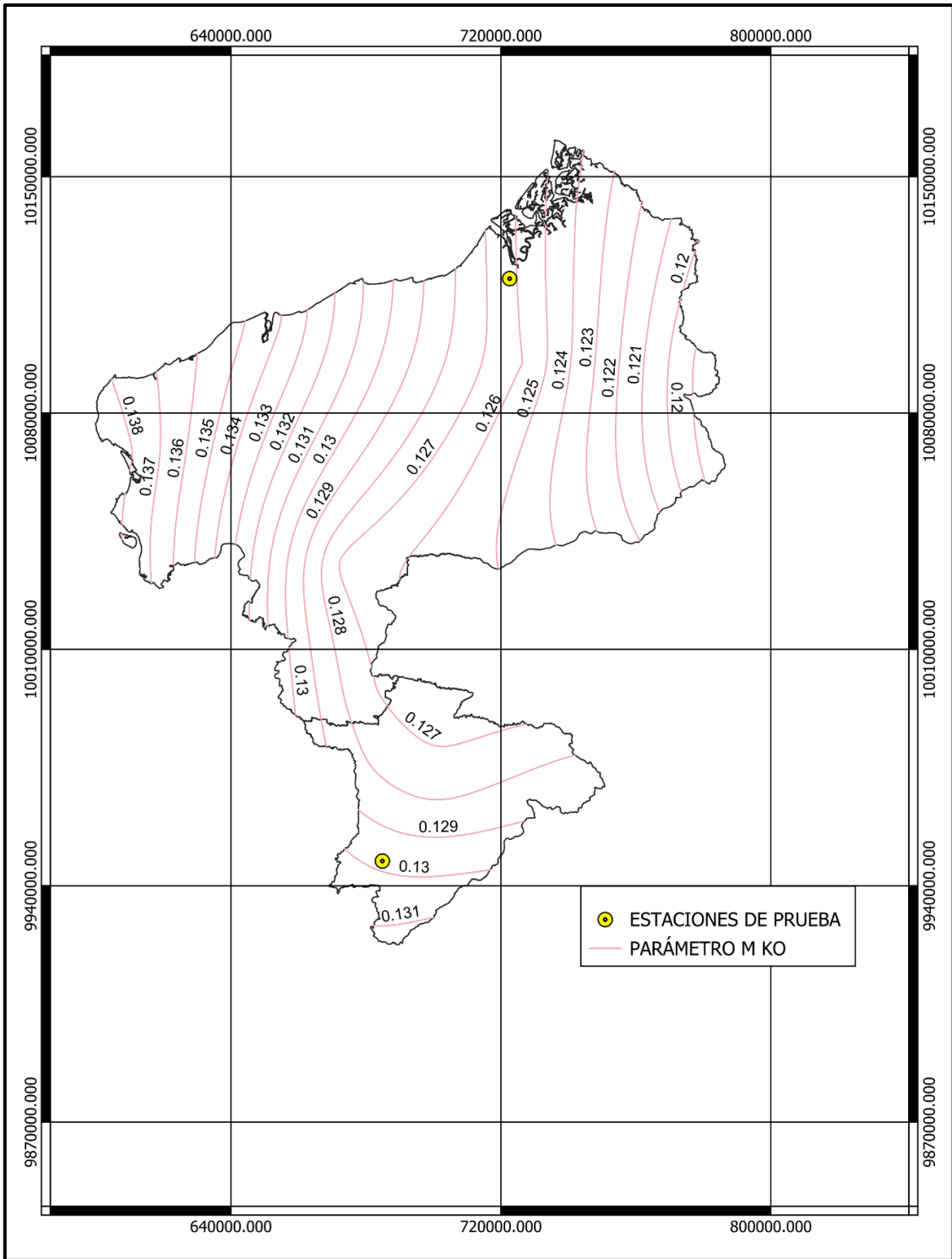


Ilustración 52: Mapa de isolíneas del parámetro M por KO, proceso 2

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.2.5 Error Relativo del Proceso 2.

En las siguientes tablas se muestra los porcentajes de error para los parámetros k y m.

Tabla 53: Porcentaje de error obtenido para el método IDW proceso 2

IDW	ESTACION DE PRUEBA		K	M
	225		8,9%	20,32%
26		7,47%	8,57%	

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 54: Porcentaje de error obtenido para el método KO proceso 2

KIRGING	ESTACION DE PRUEBA		K	M
	225		9,27%	23,6%
26		5,52%	2,91%	

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

4.3 Comparación de los Resultado en los Procesos 1 y 2

En las tablas 55 y 56 se presenta un resumen del porcentaje de error obtenidos para cada método de interpolación y para cada proceso de este estudio.

Tabla 55: Error obtenido por el método IDW para los procesos 1 y 2

METODO	ESTACION PRUEBA	PROCESO 1	PROCESO 2	PROCESO 1	PROCESO 2
		K	K	M	M
IDW	225	3,90%	8,90%	6,70%	20,32%
	26	8,76%	7,47%	1,10%	8,57%

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

Tabla 56: Error obtenido por el método KO para los procesos 1 y 2

METODO	ESTACION PRUEBA	PROCESO 1	PROCESO 2	PROCESO 1	PROCESO 2
		K	K	M	M
KO	225	2,90%	9,27%	6,33%	23,60%
	26	13,44%	5,52%	3,06%	2,91%

Elaborado por: Sara Peñafiel y Lilibeth Cedeño

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En este estudio, se realizaron dos procesos comparativos, basados en las metodologías de (Nuñez Neira & Corapi, 2022) (proceso 1) y (Velasco Ramos & Garaicoa Velásquez, 2023) (proceso 2). Se seleccionaron un total de 40 estaciones meteorológicas, debido a la disponibilidad limitada de datos, se trabajó con 32 estaciones. El objetivo fue identificar la metodología más adecuada para la regionalización de datos de precipitación en las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas, evaluando la precisión de los modelos.

El proceso 2 se destacó por su enfoque exhaustivo, que incluye la identificación y corrección de datos atípicos, y la utilización del programa Hydrognomon para ajustar distribuciones y obtener distintos periodos de retornos. A pesar de que en la regionalización utilizando los métodos de interpolación, como Distancia Inversa Ponderada (IDW) y Kriging Ordinary (KO) presento un error relativo mayor al proceso 1, se optó por el proceso 2 debido a su robustez en el manejo de datos y su capacidad de detectar y corregir valores anómalos.

Además, la elección del proceso 2 también se justifica por la implementación del Método de la US para la obtención de datos faltantes, lo que añadió un nivel adicional de fiabilidad a los resultados obtenidos.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda ampliar y actualizar los registros históricos de datos pluviométricos para mejorar la precisión en la regionalización de las curvas IDF, ya que una mayor cantidad de datos meteorológicos contribuye a reducir errores en los modelos. En estudios donde los datos son escasos, como en el caso de las Provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas, es crucial aplicar metodologías para hallar datos faltantes como el método de US, que ha demostrado ser eficaz en la obtención de datos faltantes mediante la interpolación de estaciones cercanas.

Asimismo, al involucrar múltiples distribuciones teóricas para el ajuste de datos extremos, se sugiere realizar análisis comparativos entre las distintas distribuciones aplicadas. A pesar de que este estudio se optó por la metodología del proceso 2 por su solidez y la utilización del programa Hydrognomon para la verificación y análisis de datos atípicos, se recomienda considerar otros enfoques para diferentes áreas geográficas.

Finalmente, mantener actualizado el modelo de regionalización, incorporando nuevos datos de precipitación y estaciones meteorológicas, permitirá una mejora continua del modelo y su utilidad en proyectos futuros de infraestructura y gestión de riesgo en la región

Bibliografía

- AFP. (28 de 01 de 2016). *Dos muertos dejan las inundaciones en Esmeraldas*. Obtenido de Vistazo: <https://www.vistazo.com/actualidad/dos-muertos-dejan-las-inundaciones-en-esmeraldas-XYVI12642>
- Aparicio Mijares, F. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Mexico: Limusa S.A. de C.V . Grupo Noriega editores.
- AQUEDUCT. (16 de 08 de 2023). *WORLD RESORCES INSTITUTE*. Obtenido de WORLD RESORCES INSTITUTE: <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>
- ArcGeek. (2 de mayo de 2018). *ArcGeek*. Obtenido de EL blog de franz: <https://acolita.com/interpolacion-con-la-distancia-inversa-ponderada-idw/>
- ArcGIS. (s.f.). Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Becerra Oviedo, J., & Liza Fernanda , S. (s.f.).
- Becerra, S. A. (2015). *Ingeniería y Región*. Obtenido de Universidad SURCOLOBIANA: <https://www.journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/701/1340>
- Bejar, M. V. (2002). *hidrología*. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Bejar, M. V. (2006). *HIDROLOGIA ESTADISTICA*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Campos Aranda, D. (1998). *Procesos Del Ciclo Hidrológico*. Mexico: Editorial universitario Potosina.
- Campos Aranda, D. (2006). *Análisis Probabilístico Univariado de datos hidrológicos*. Mexico.
- Campos Aranda, D. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*.
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2018). *Métodos Numéricos para ingenieros*. Ciudad de Mexico: McGraw- Hill Education.
- Chereque Morán, W. (1981). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima- Peru: CONCYTEC.

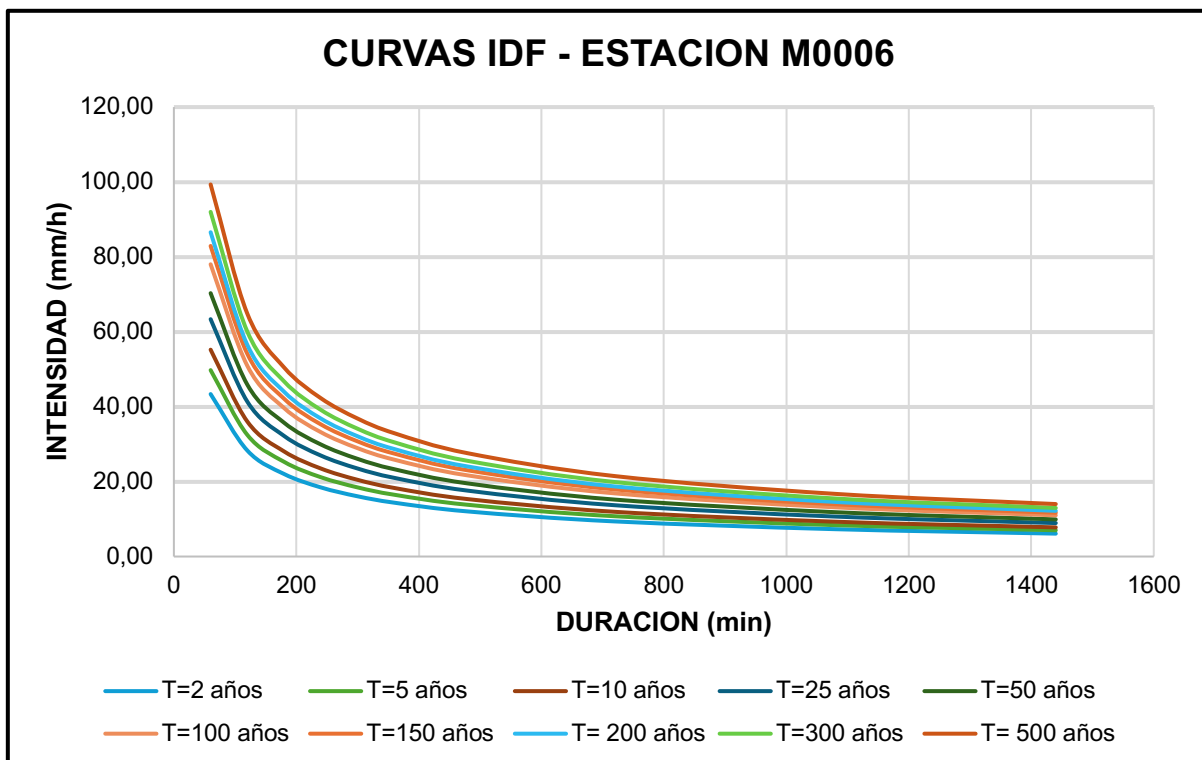
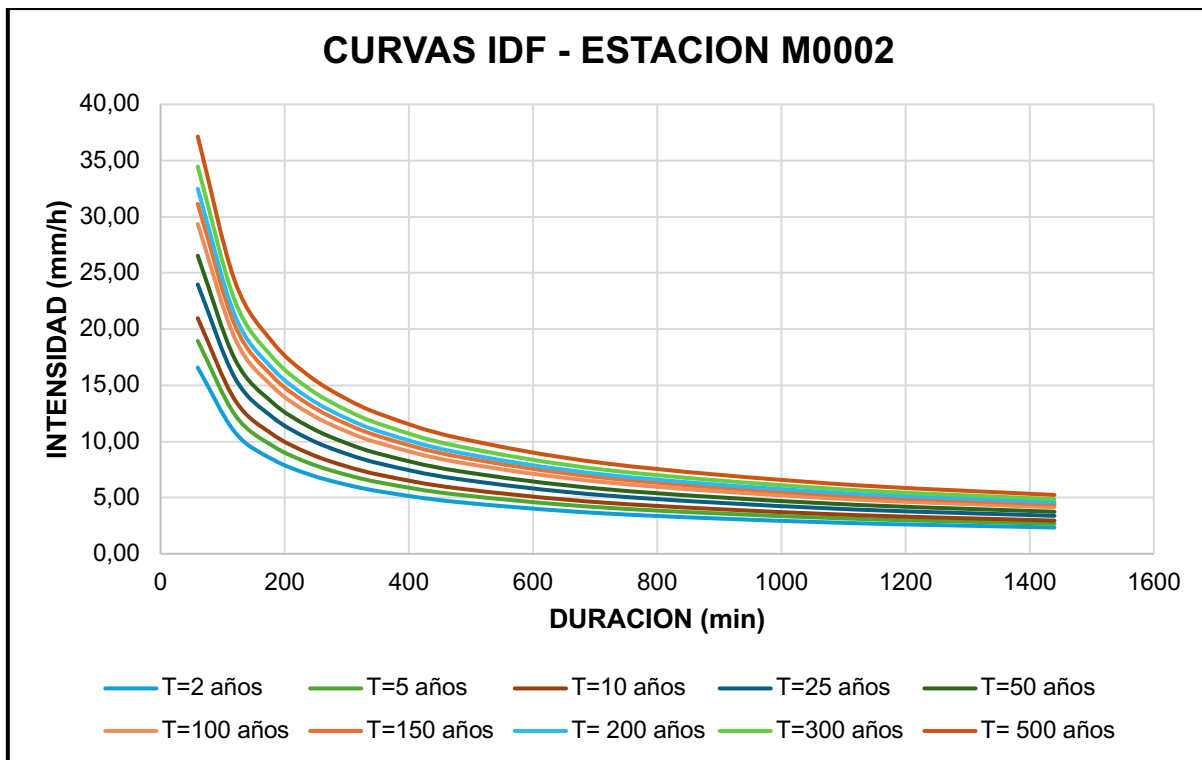
- CONGOPE. (2024). *Consortio de Gobiernos Autonomos Provinciales del Ecuador*. Obtenido de CONGOPE, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas: http://www.congope.gob.ec/?page_id=5800
- CONGOPE. (2024). *Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador*. Obtenido de CONGOPE, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas: http://www.congope.gob.ec/?page_id=5800
- CRAHI. (s.f.). Obtenido de <http://www.crahi.upc.edu/es/investigacion/prevision-hidrometeorologica/que-es-la-hidrometeorologia/>
- CUOM. (s.f.). Obtenido de <https://www.uv.mx/cuo/files/2013/05/Manual-QGIS-CUOM.pdf>
- DLE. (s.f.). *DLE*. Obtenido de Diccionario de la Lengua Española: <https://dle.rae.es/>
- DLE. (s.f.). *DLE*. Obtenido de Diccionario de la Lengua Española: <https://dle.rae.es/>
- ESCRI. (2024). *ESCRI*. Obtenido de ARCGIS PRO: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>
- Escri. (s.f.). *Argis pro*. Obtenido de Argis pro: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm#:~:text=El%20kriging%20ordinario%20es%20el,una%20raz%C3%B3n%20cient%C3%ADfica%20para%20rechazarla.>
- Esmeraldas, C. -P. (2024). *Consortio de Gobiernos Autonomos Provinciales del Ecuador*. Obtenido de CONGOPE, Provincia de Esmeraldas: http://www.congope.gob.ec/?page_id=5418
- Esmeraldas, C. -P. (2024). *Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador*. Obtenido de CONGOPE, Provincia de Esmeraldas: http://www.congope.gob.ec/?page_id=5418
- Farfán, F. P. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala.
- FCEA. (2017). *AGUA.org.mx*. Obtenido de Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (FCEA): <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>

- Flickr. (11 de 12 de 2012). <https://www.flickr.com/photos/atmospheric-infrared-sounder/8265072146>. Obtenido de <https://www.flickr.com/photos/atmospheric-infrared-sounder/8265072146>
- García, F. F. (2012). Meteorología y climatología. . *Revista Indice*, 6-9.
- Geología. (30 de 03 de 2021). *Geologia Viva*. Obtenido de https://www.geologiaviva.info/ingenieria/manual-de-diseno-de-estructuras-hidraulicas/#google_vignette
- Giordani, C., & Leone, D. (s.f.). *FRRO*. Obtenido de Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rosario : https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Estructura.pdf
- Gutiérrez, C. (2014). *hidrologia basica y aplicada*. Quito- Ecuador: editorial universitaria Abya-Yala.
- Harlan H, B. (2002). *Hydrology (Part 2) - Frequency Analysis of Flood Data*. National Highway institute.
- Hernández, W. H. (28 de mayo de 2019). Análisis comparativo de distribuciones estadísticas para el. *Análisis comparativo de distribuciones estadísticas para el. bogota*, Colombia.
- Hydrognomon. (2018). *RHydro INgenieros*. Obtenido de <https://rhydroingenieros.com/blog/conoce-mas-acerca-de-hydrognomon>
- INAMHI. (2011). *50 AÑOS ECUADOR*. CONSEJO EDITORIAL.
- INAMHI. (2011). *ISSU*. Obtenido de INAMHI: https://issuu.com/inamhi/docs/instrumentos_met/1?e=3876143/2842956
- INAMHI. (2015). determinacion de ecuaciones para el calculo de intensidades maximas de precipitacion. Quito, Ecuador.
- INAMHI. (2017). *Anuario Meteorológico*. Obtenido de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: <https://drive.google.com/file/d/1mroZYqKlyNjouAj0nlGD75AO9vDkhNYS/view>

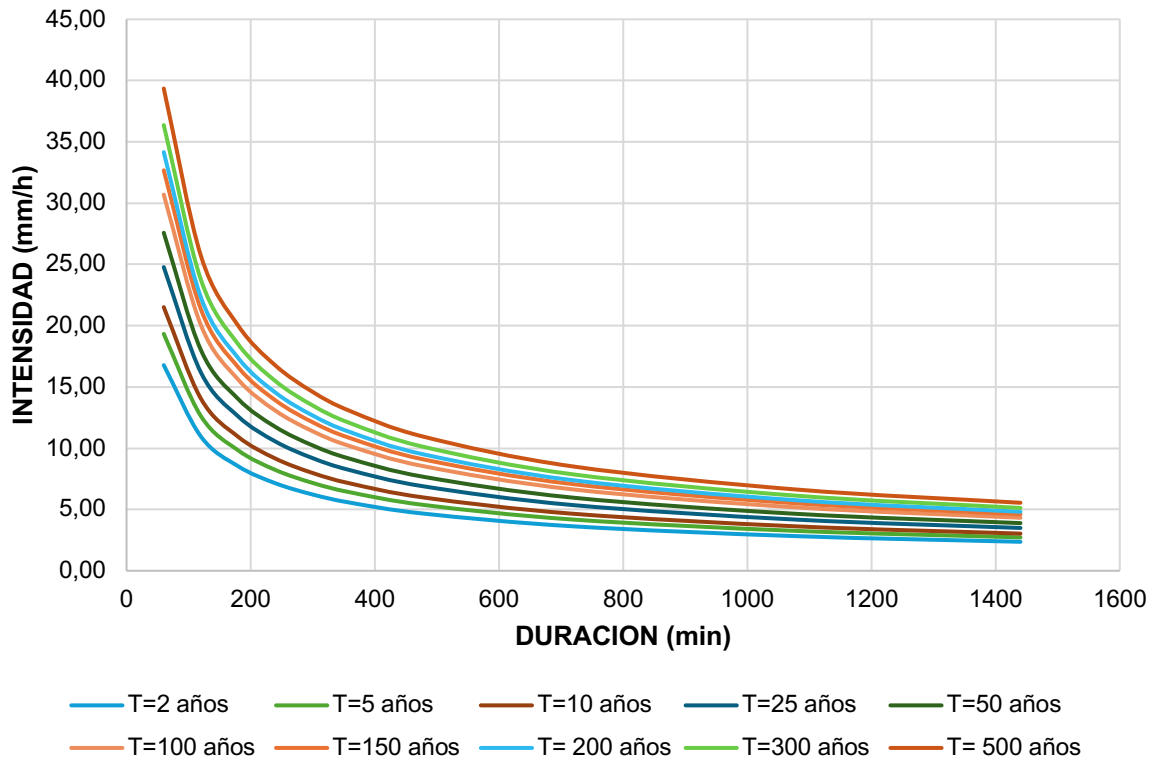
- INAMHI. (2017). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de <https://www.inamhi.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- INAMHI. (23 de 8 de 2024). *Biblioteca virtual del INAMHI*. Obtenido de <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- INTESCO. (2024). *INTESCO*. Obtenido de <https://www.intesco.com.co/sabes-en-que-se-diferencian-un-pluviometro-y-un-pluviografo/>
- Jonatan Rodríguez, Javier Córdova, Maria Baquerizo, & Josué Rodríguez. (s.f.). Parámetros básicos que determinan la calidad del agua subterránea para uso agrícola.
- Jonatan Rodríguez, Javier Córdova, Maria Baquerizo, & Josué Rodríguez. (s.f.). Parámetros básicos que determinan la calidad del agua subterránea para uso agrícola.
- Linsley, Kohler, & Paulus. (1958). *Hidrología Para Ingenieros*. Bogota, Colombia: McGraw-hill latinoamericana S.A.
- Melo, M. F. (21 de 03 de 2024). *statista*. Obtenido de Empowering people with data: <https://es.statista.com/grafico/31943/relacion-proyectada-entre-la-demanda-y-la-disponibilidad-de-agua--nivel-de-estres-hidrico/>
- Monsalve, G. (1996). *Hidrología en la Ingeniería*. COLOMBIA: ALFA OMEGA GRUPO EDITOR.
- Montgomery, D., & Runger, G. (s.f.). *probabilidad y estadísticas aplicadas a la ingeniería*.
- Nuñez Neira, N., & Corapi, P. (2022). *Repositorio institucional*. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/e877e75a-fc8b-4f80-95ac-e9636b91e3a4>
- Philip B, B., Wayne C, H., & Baxter E, V. (2013). *Hydrology and Floodplain Analysis*. MURALIDHAR MALLIDU.
- Primicias. (2021). *Primicias*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/tecnologia-satelital-tierra-inamhi-tiempo/>
- Quintero, & Duran. (2004). *SciELO*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-

Anexos

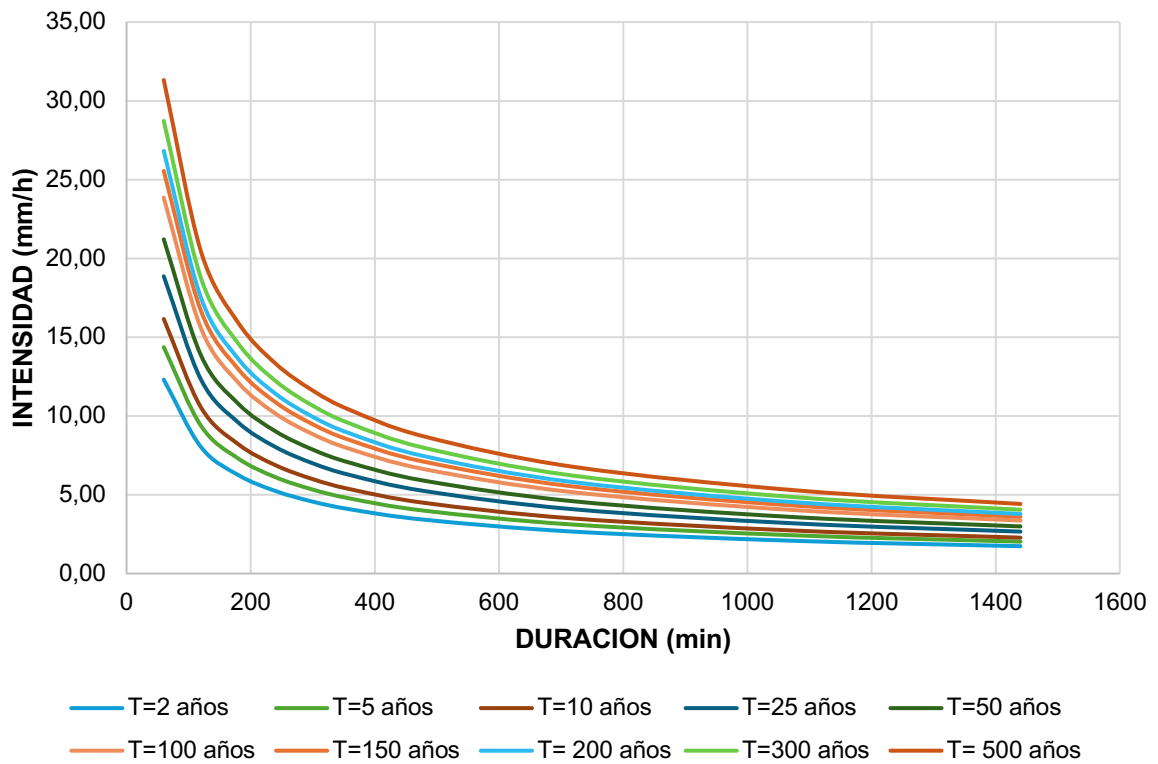
Anexo A: Curvas IDF Proceso 1



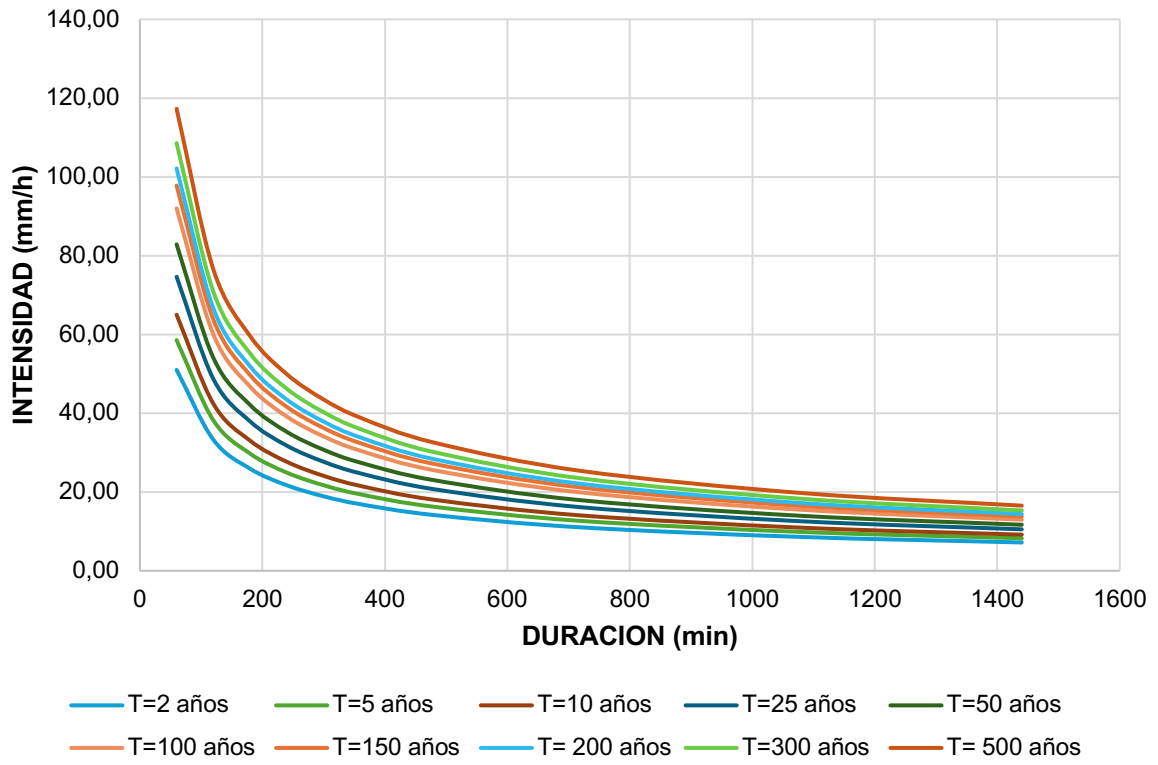
CURVAS IDF - ESTACION M0024



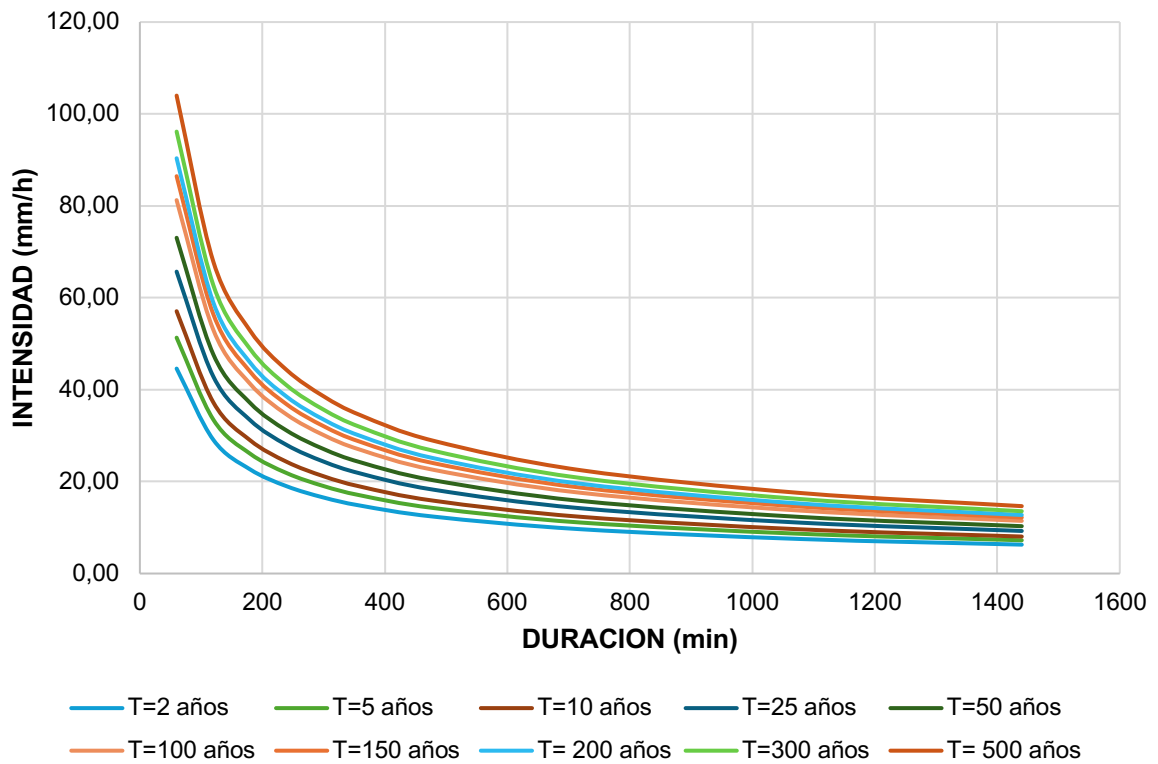
CURVAS IDF - ESTACION M0009



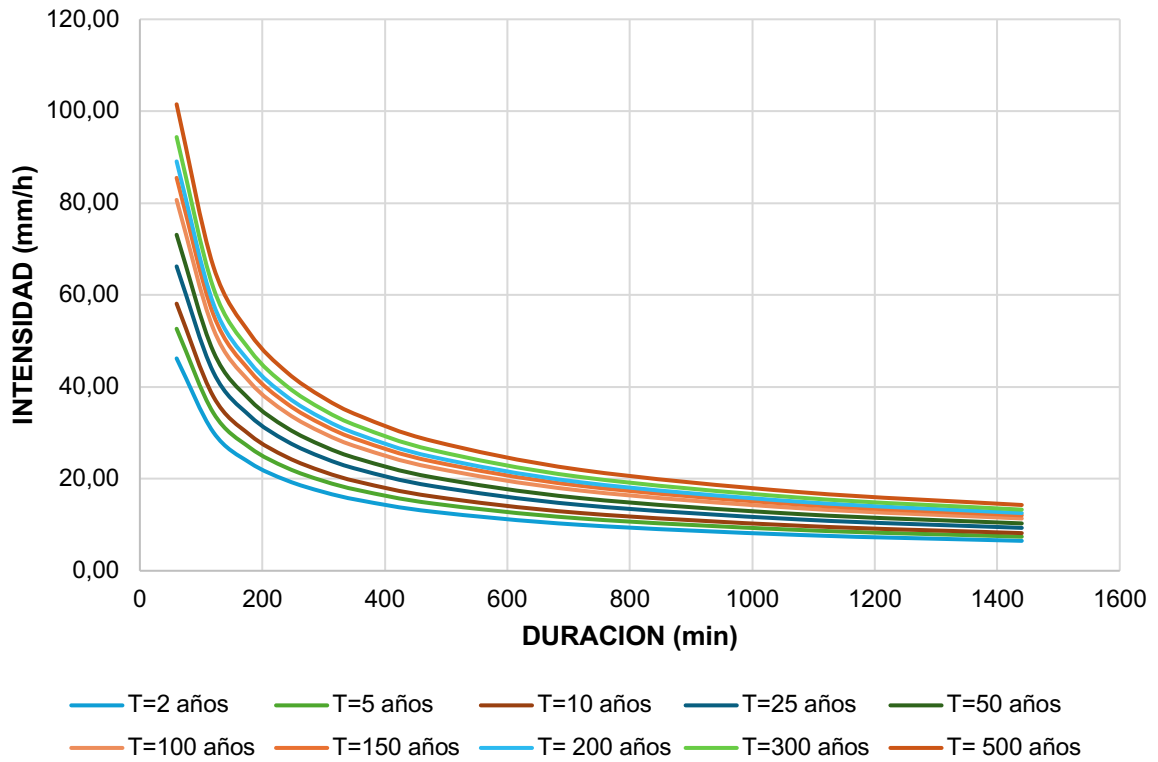
CURVAS IDF - ESTACION M0025



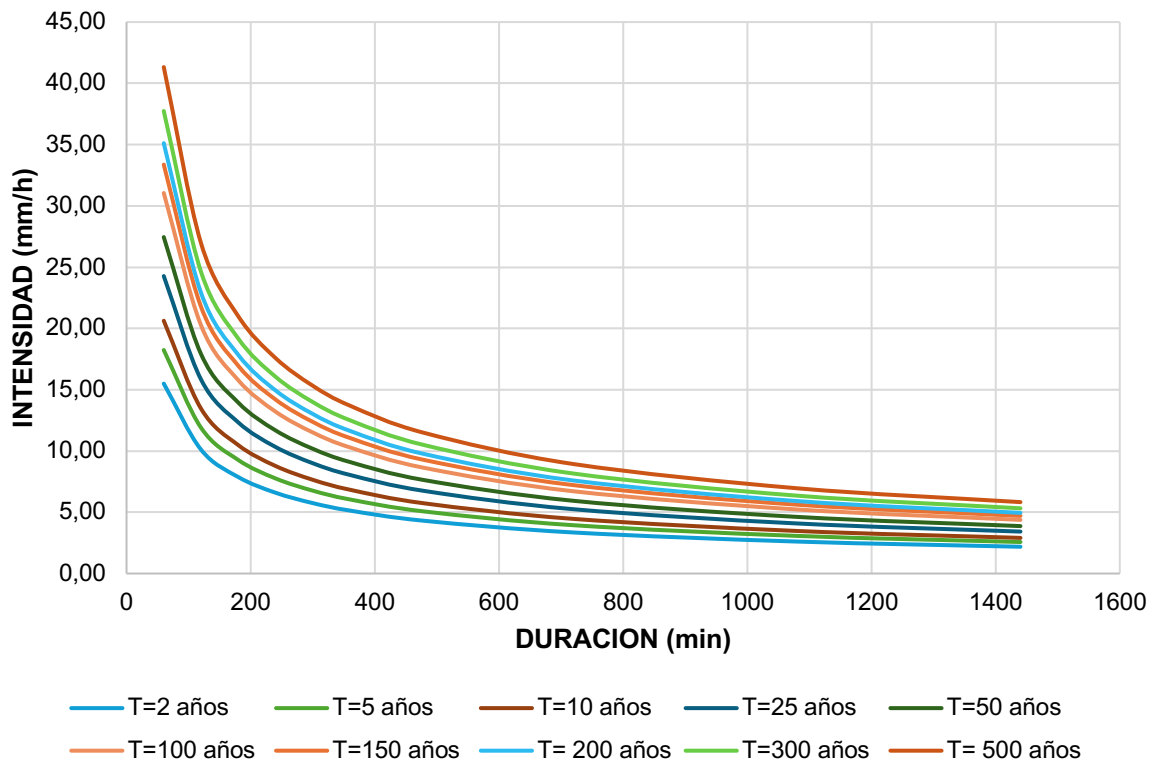
CURVAS IDF - ESTACION M0026



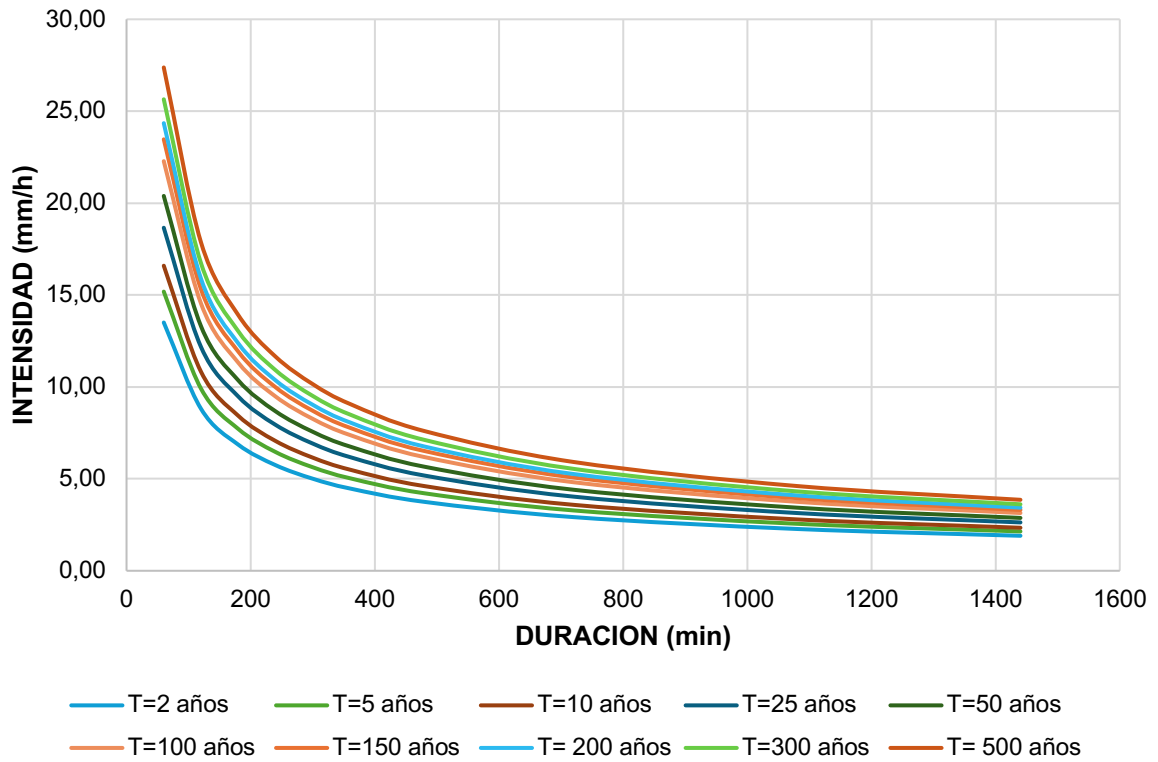
CURVAS IDF - ESTACION M0027



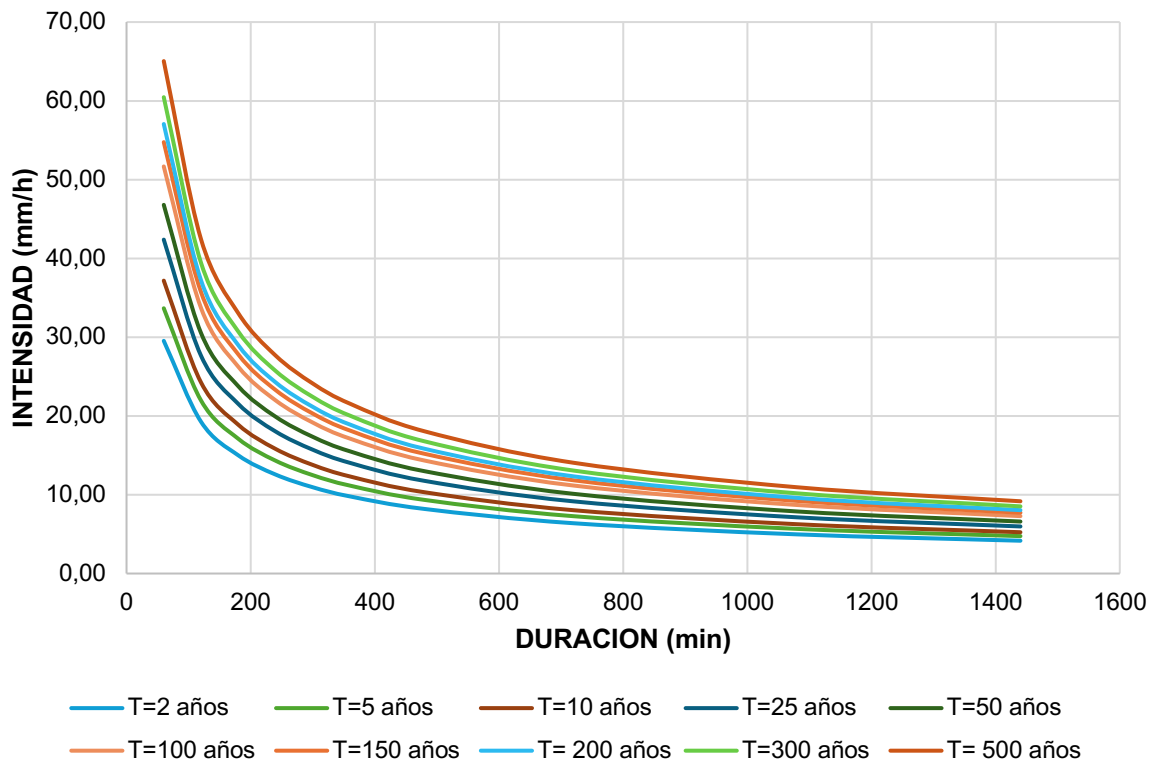
CURVAS IDF - ESTACION M0055



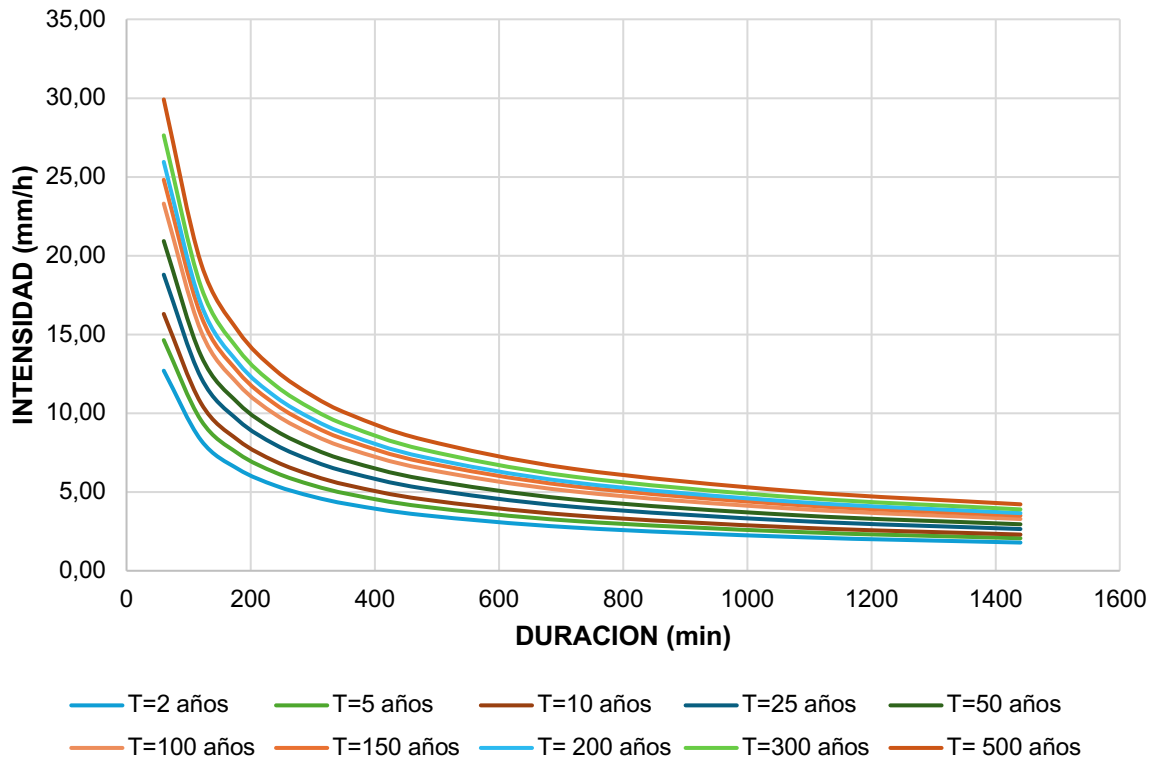
CURVAS IDF - ESTACION M0105



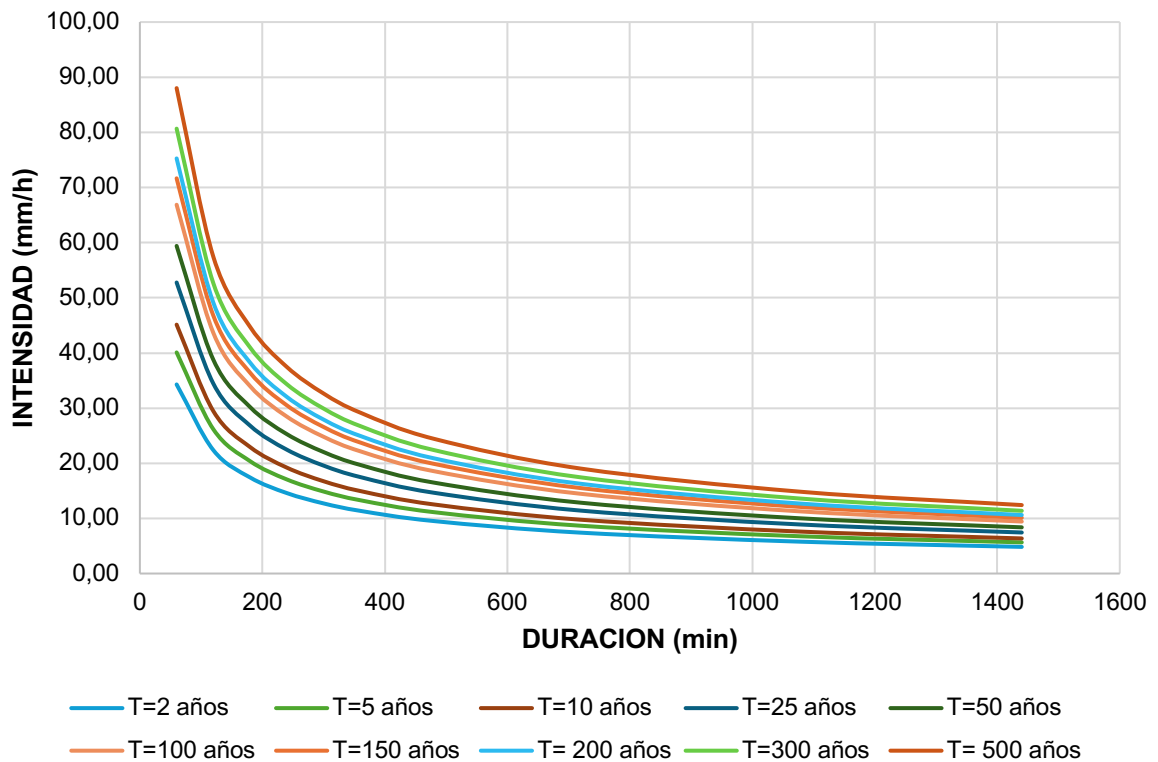
CURVAS IDF - ESTACION M0106



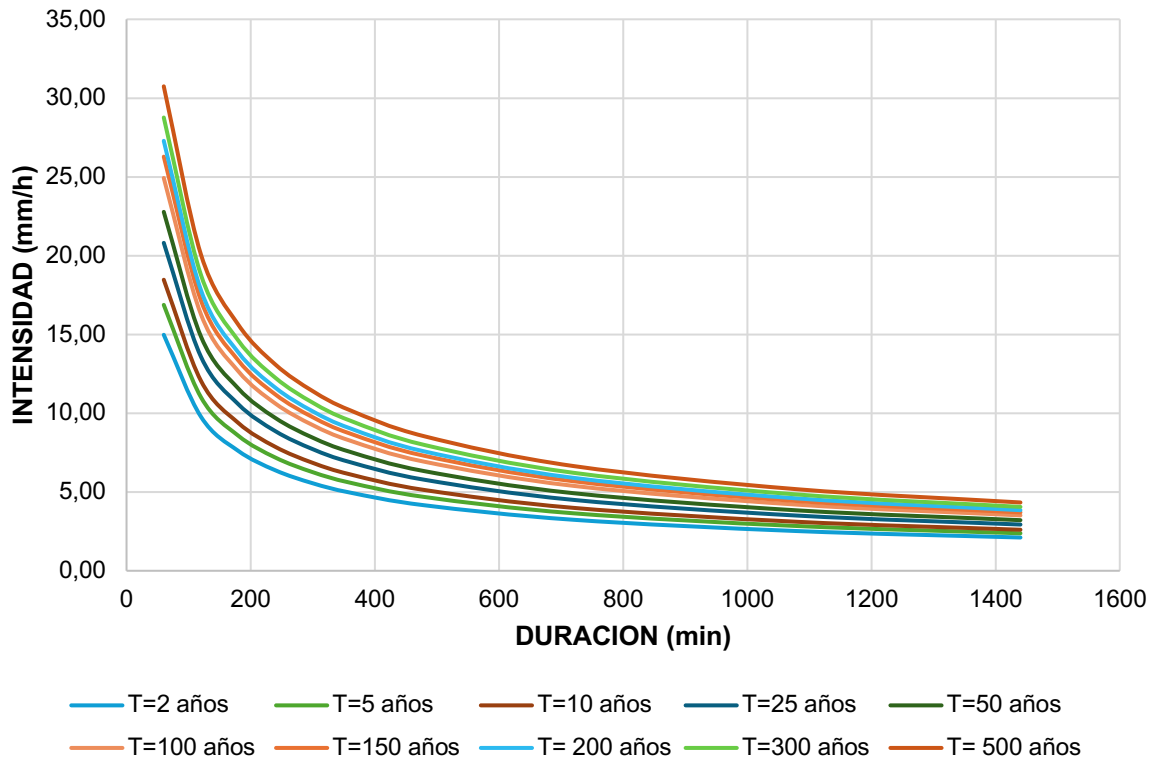
CURVAS IDF - ESTACION M0107



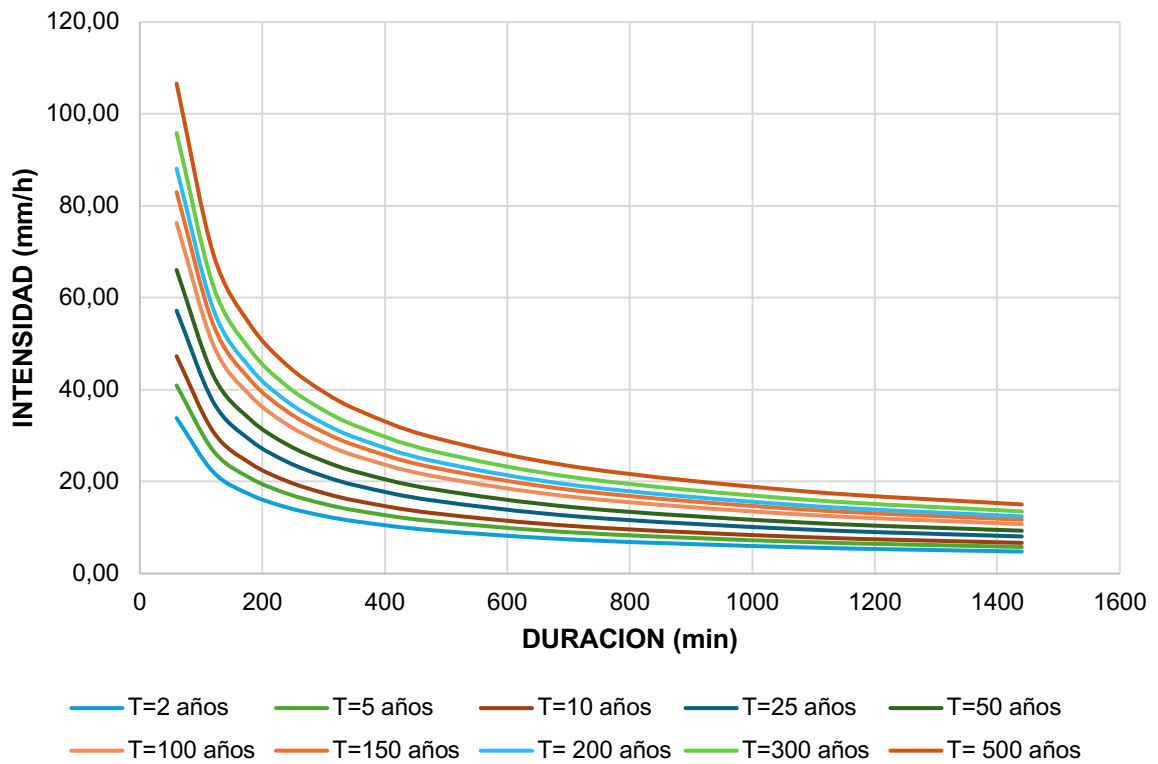
CURVAS IDF - ESTACION M0116



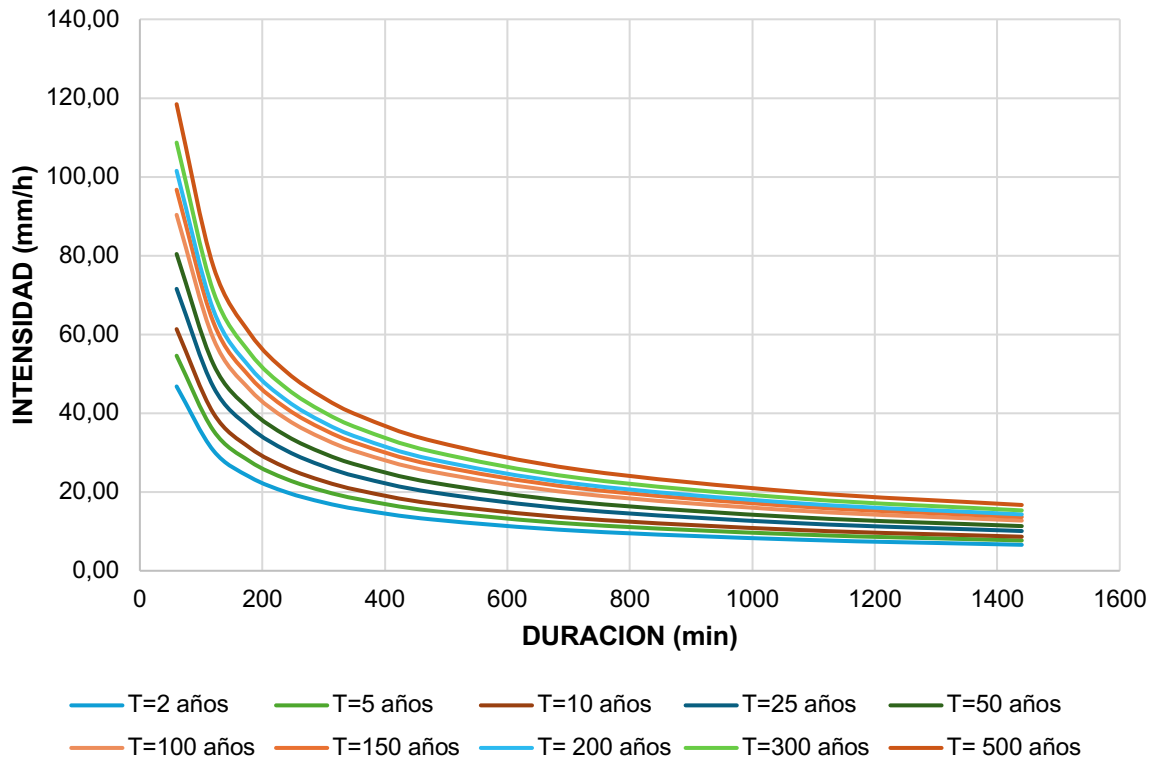
CURVAS IDF - ESTACION M0122



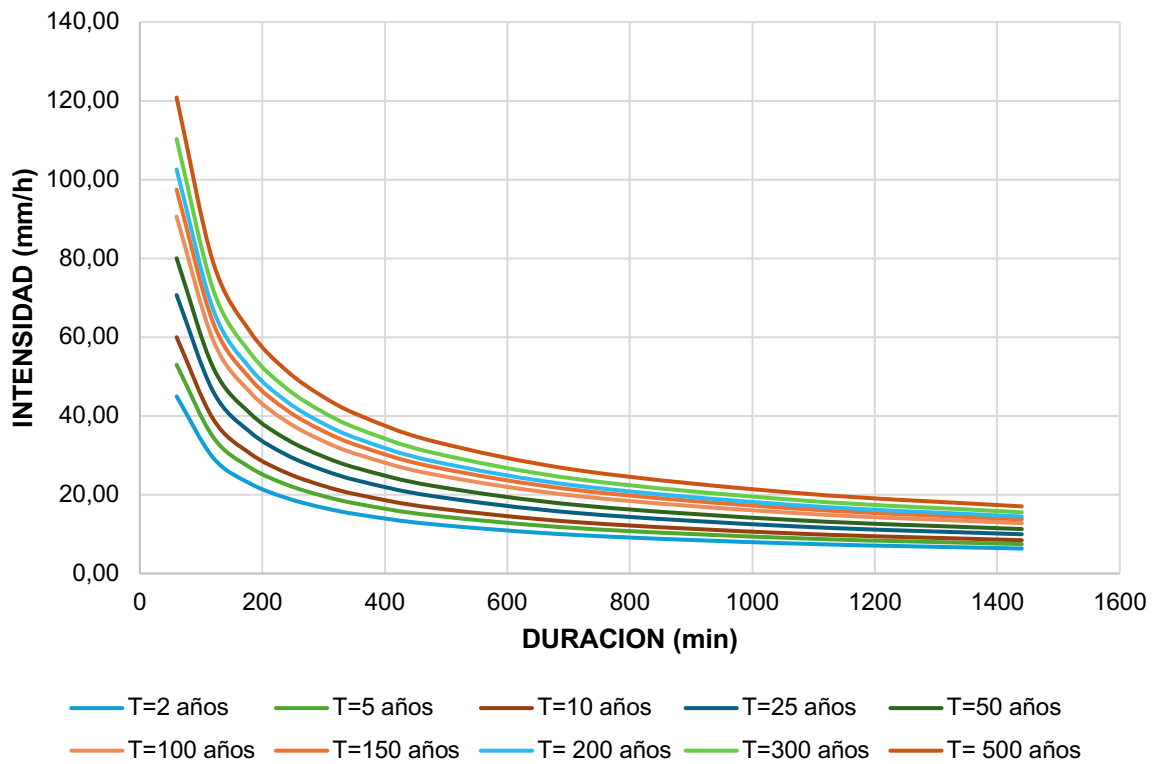
CURVAS IDF - ESTACION M0123



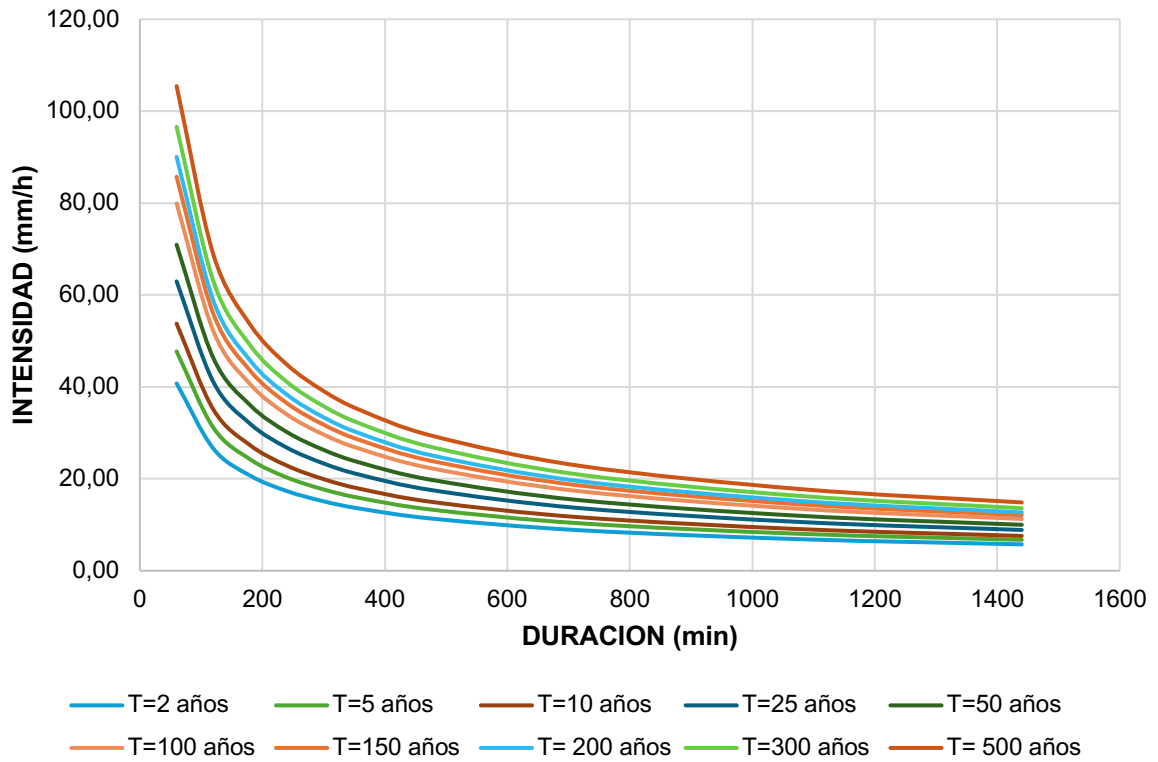
CURVAS IDF - ESTACION M0124



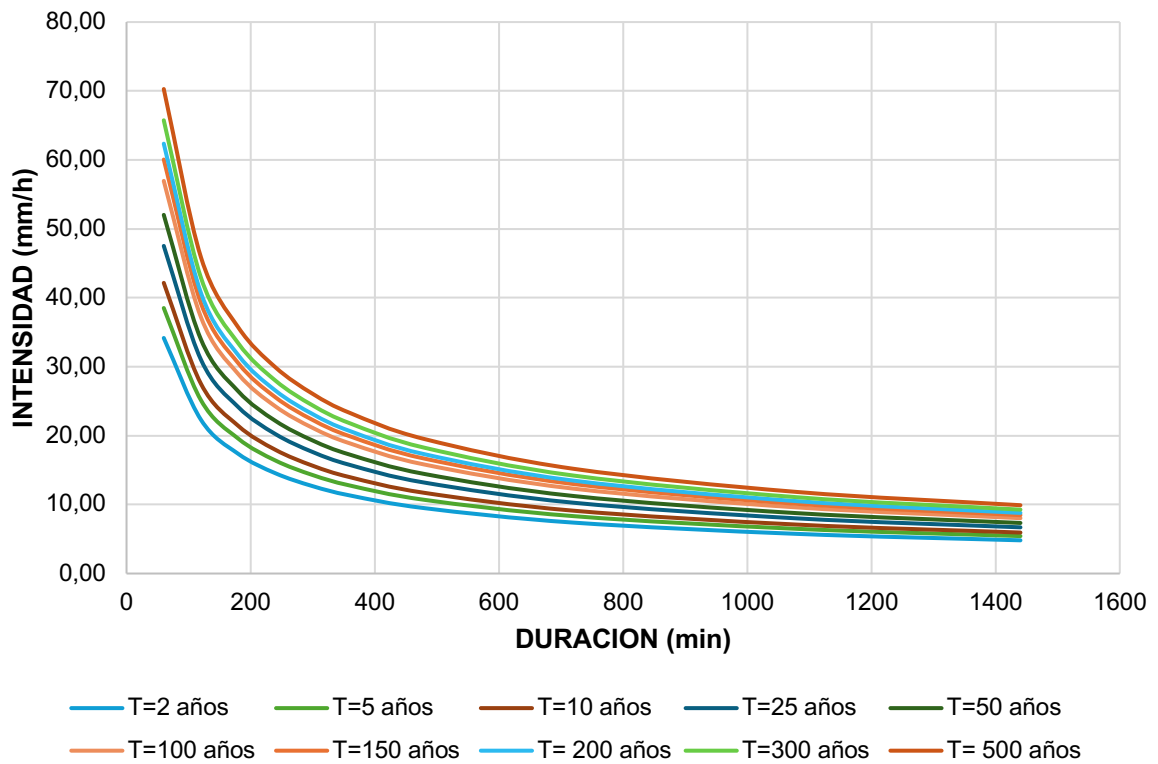
CURVAS IDF - ESTACION M0153



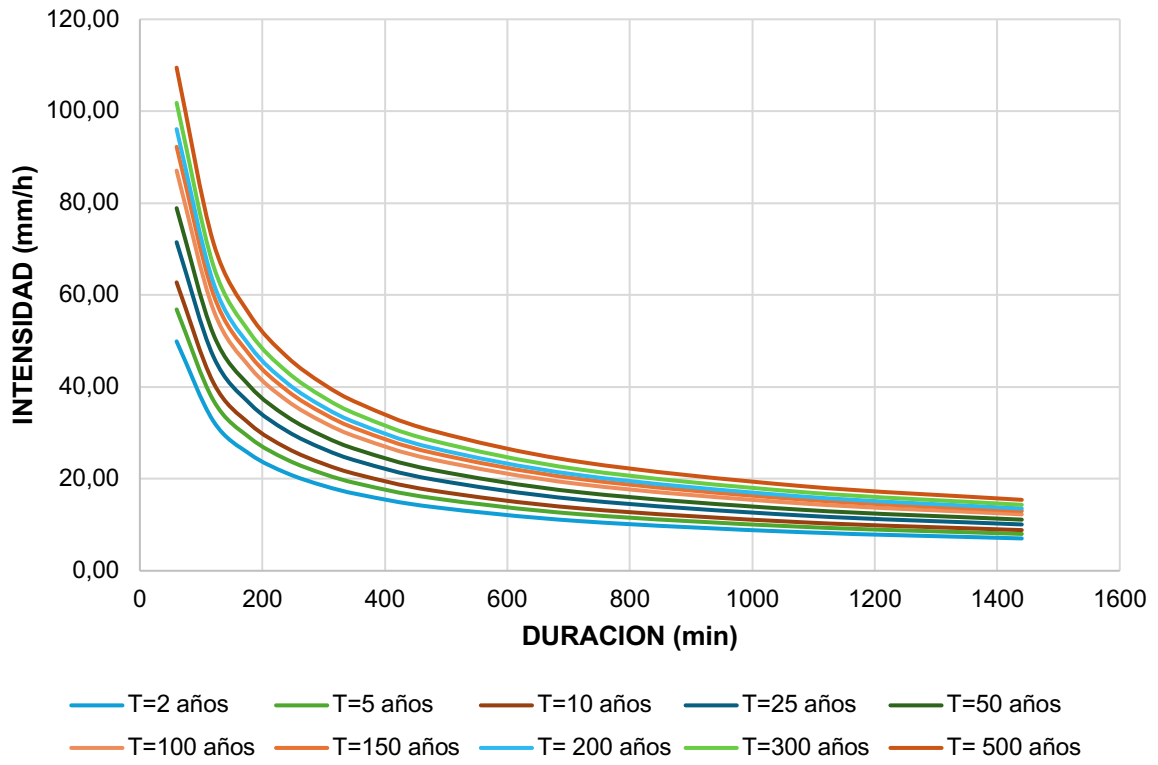
CURVAS IDF - ESTACION M0154



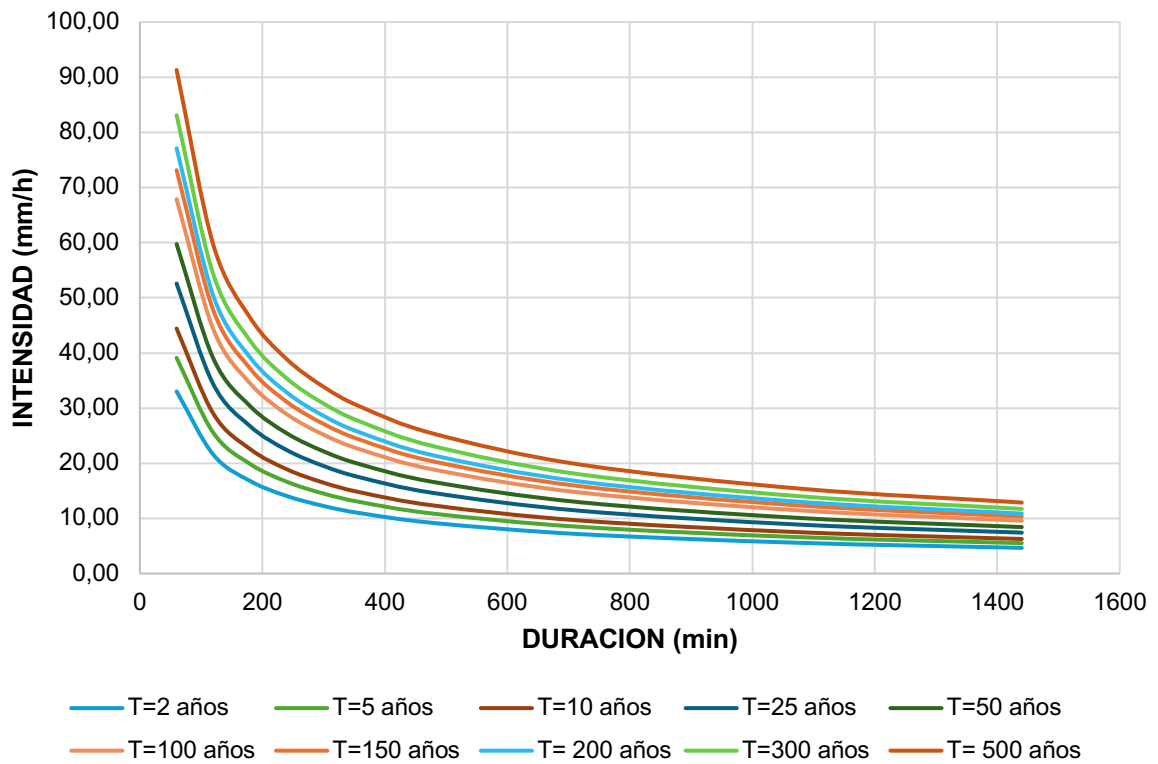
CURVAS IDF - ESTACION M0156



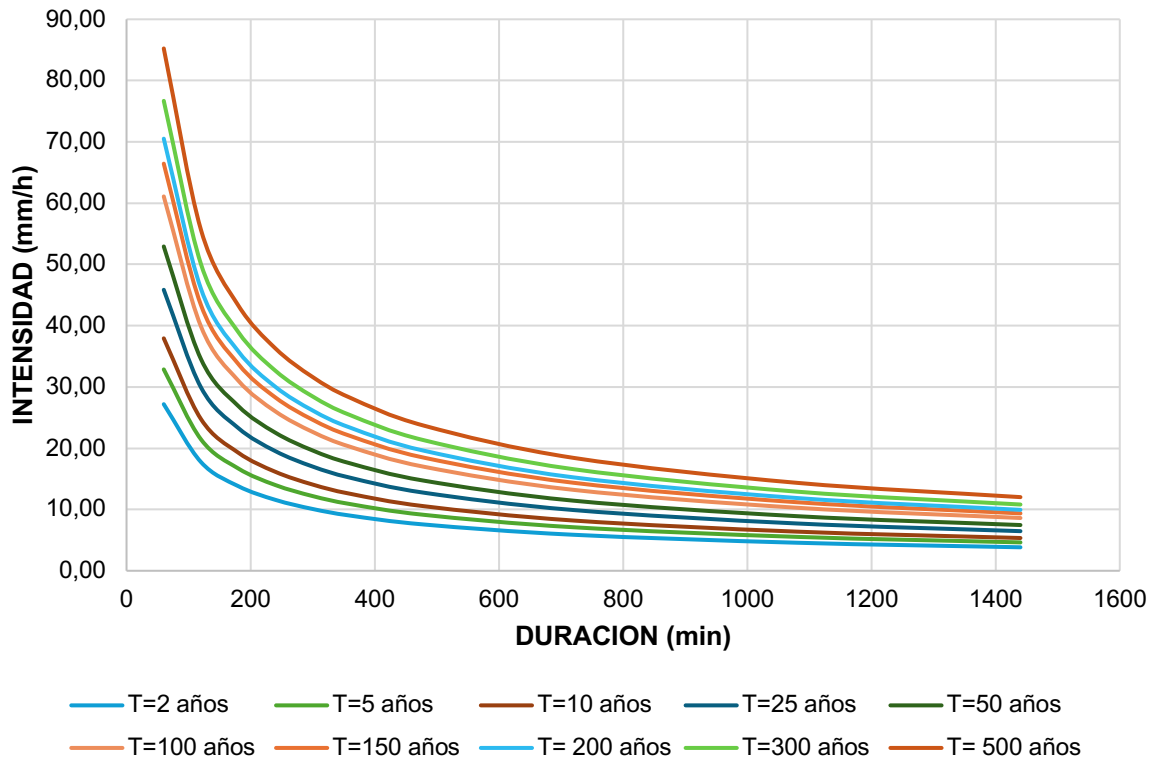
CURVAS IDF - ESTACION M0160



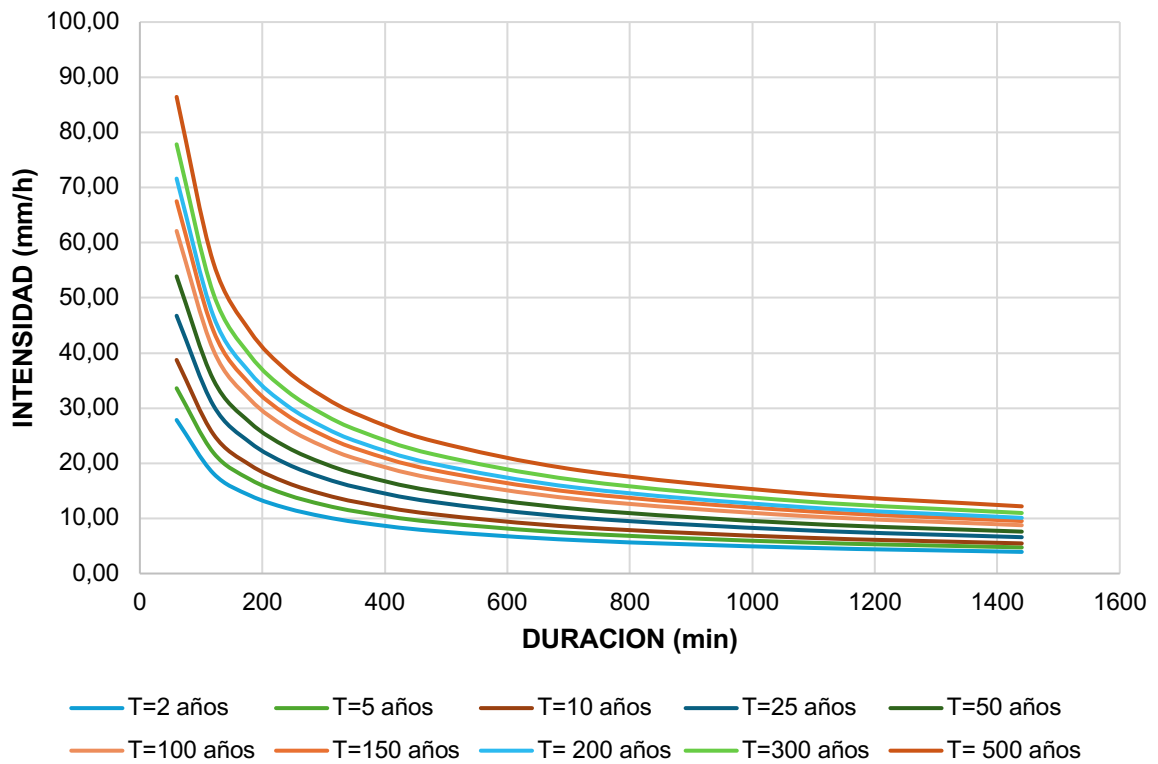
CURVAS IDF - ESTACION M0162



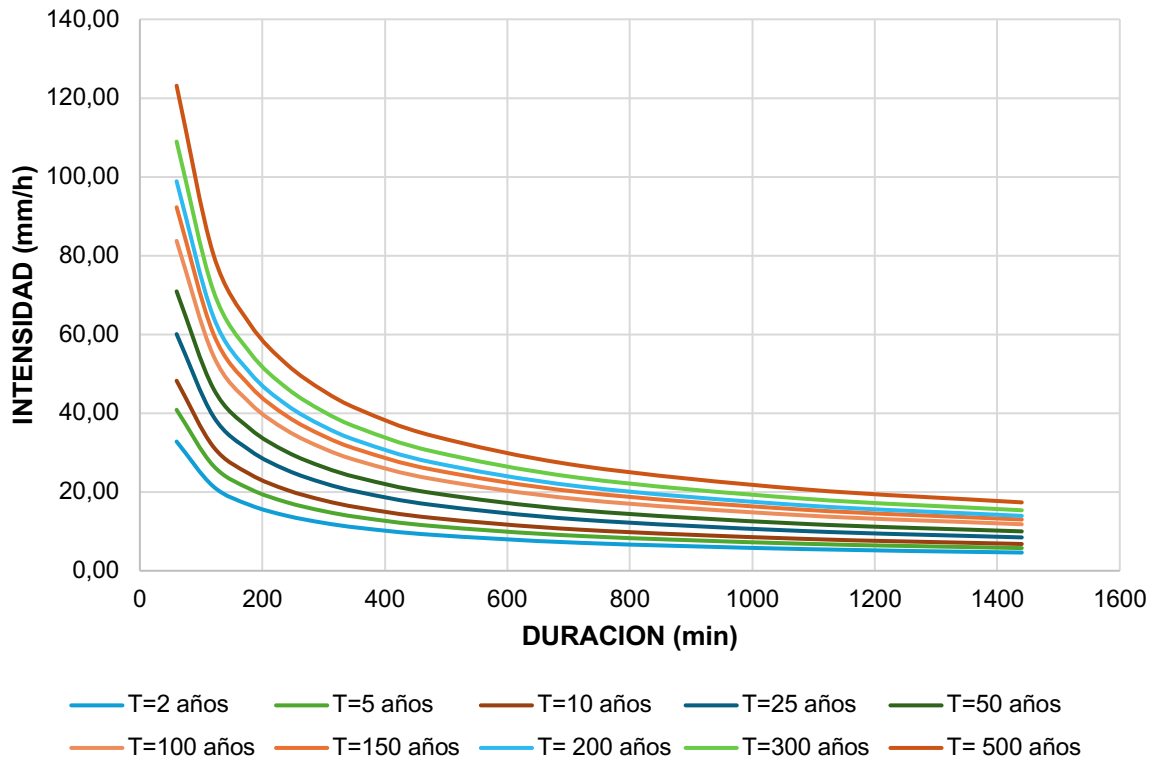
CURVAS IDF - ESTACION M0163



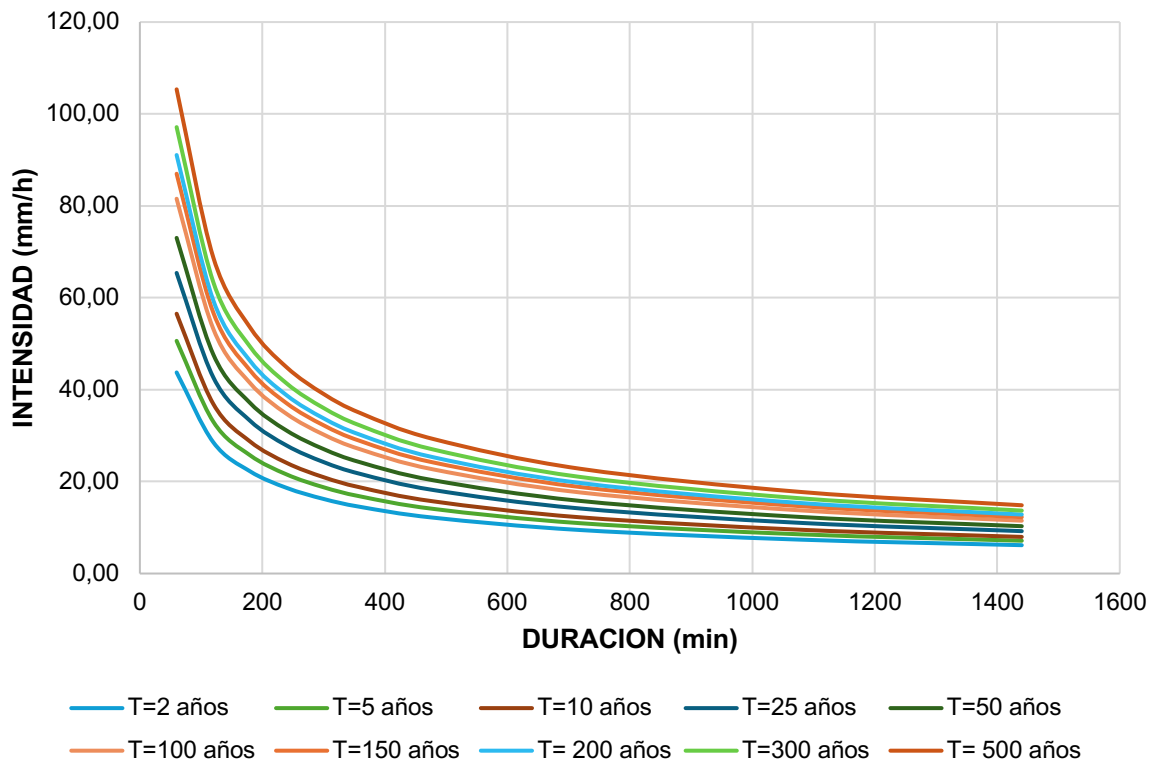
CURVAS IDF - ESTACION M0167



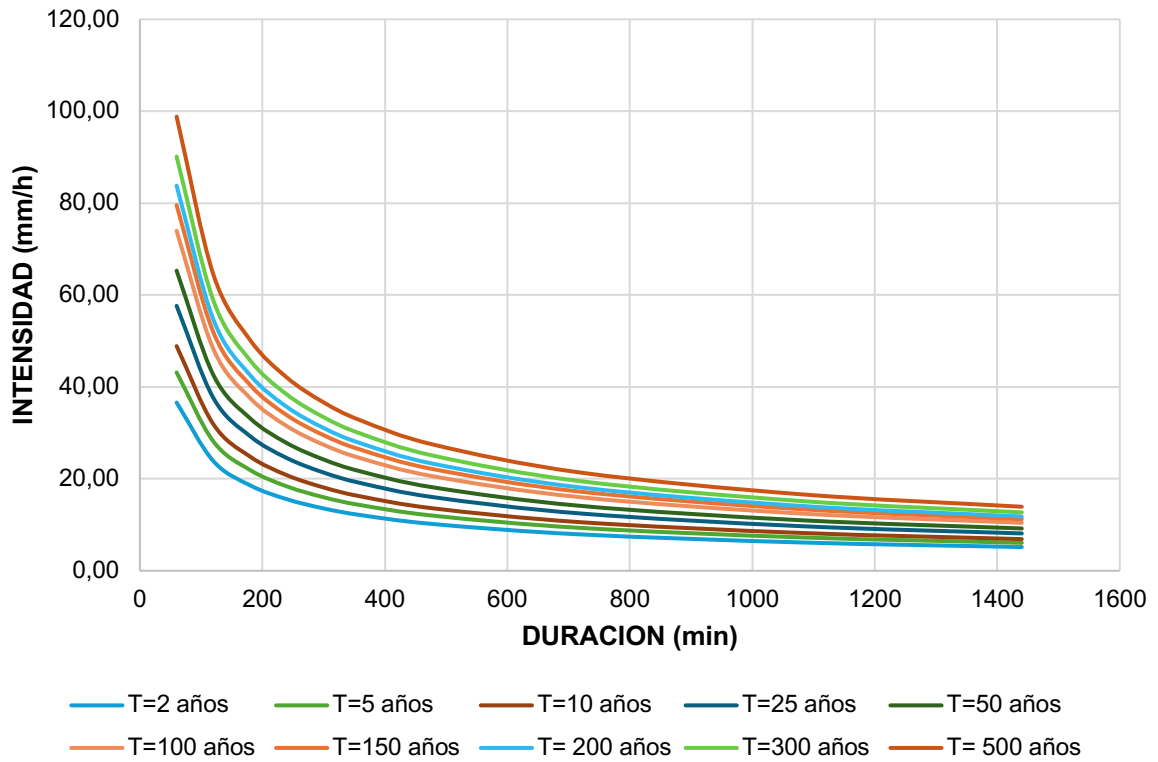
CURVAS IDF - ESTACION M0168



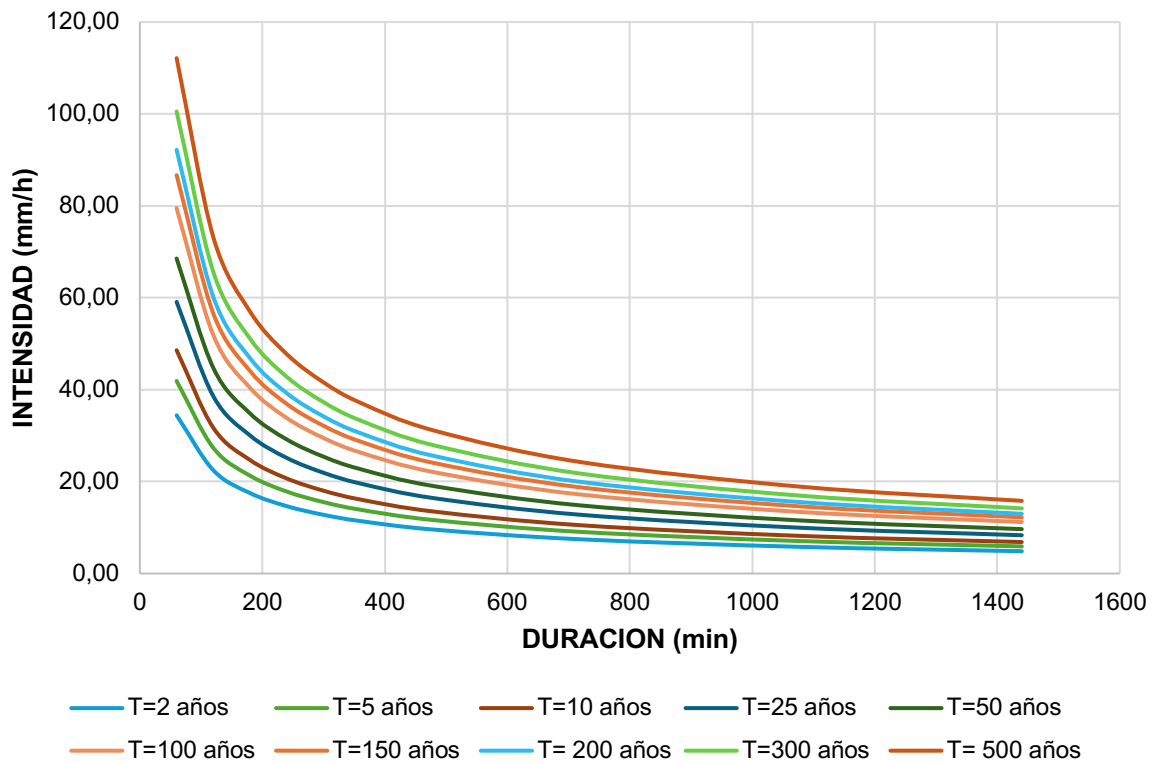
CURVAS IDF - ESTACION M0224

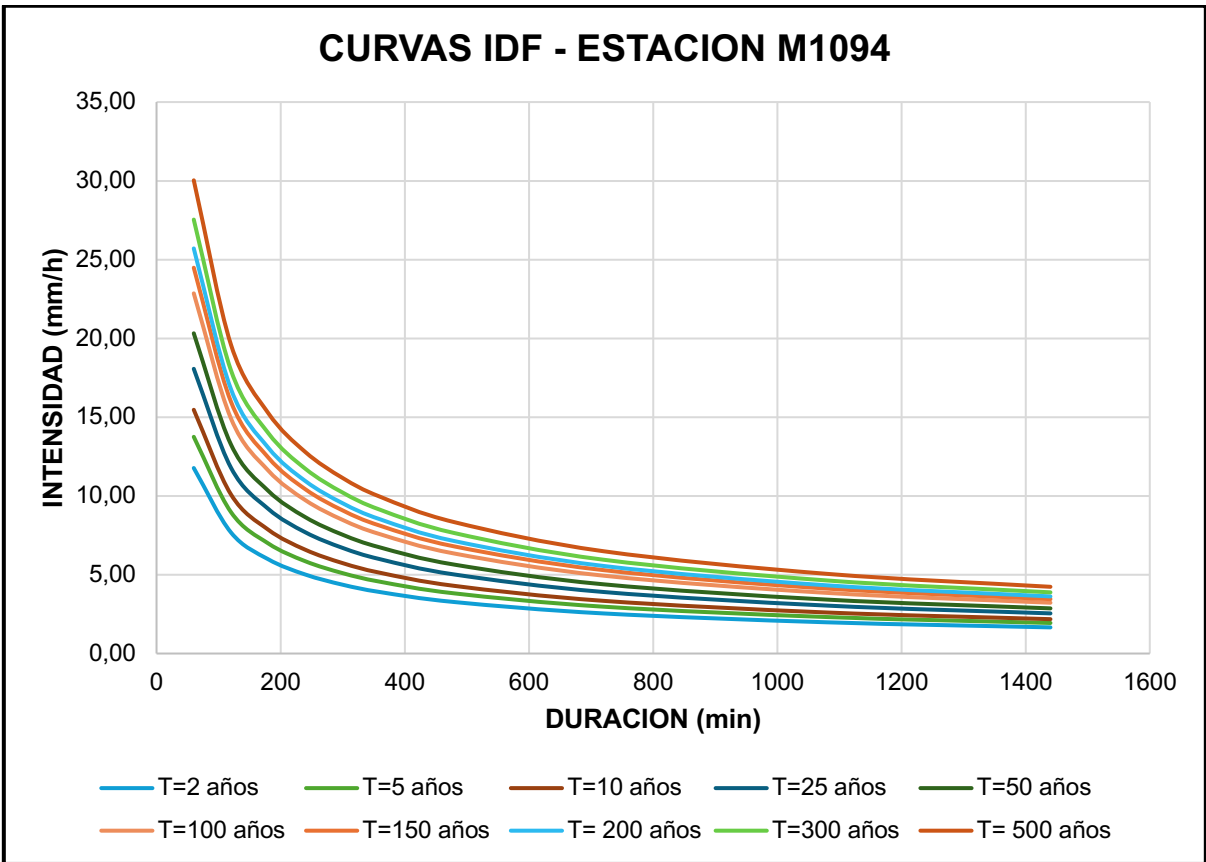
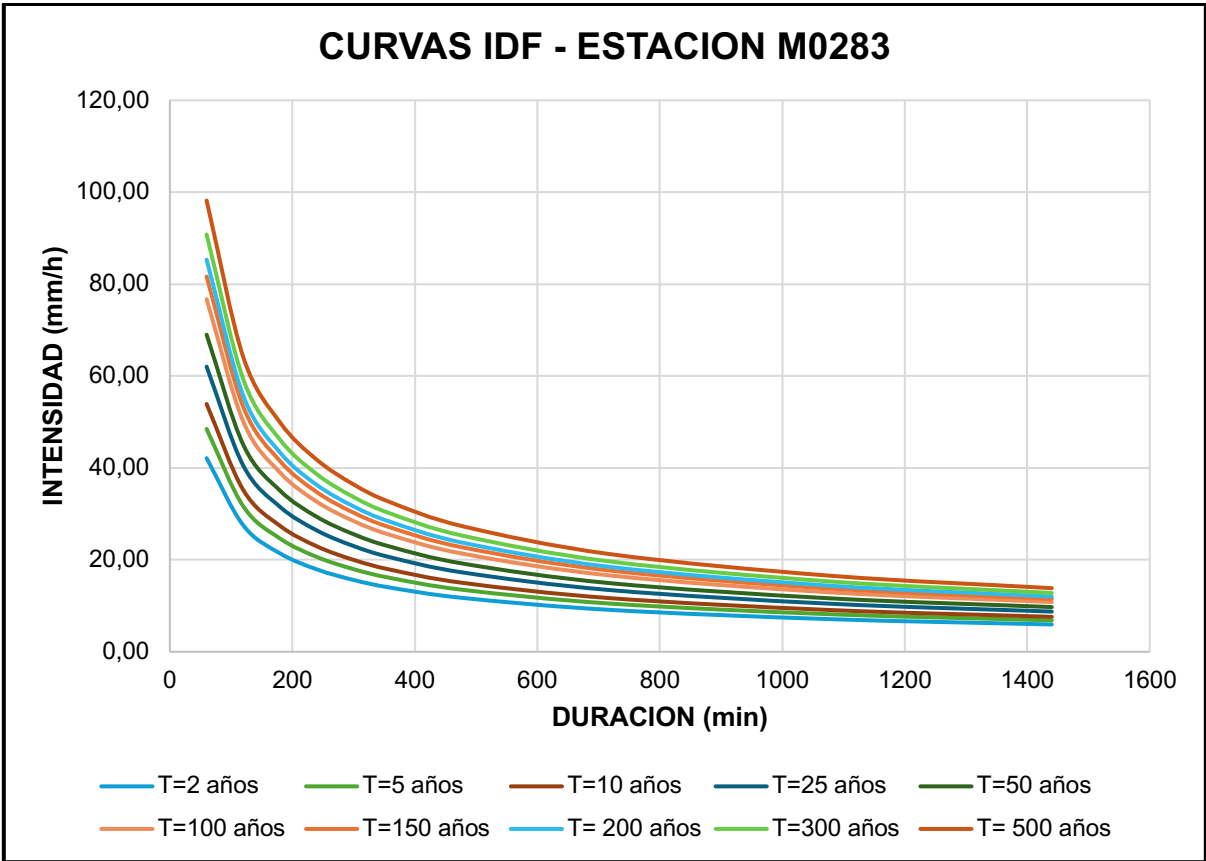


CURVAS IDF - ESTACION M0225

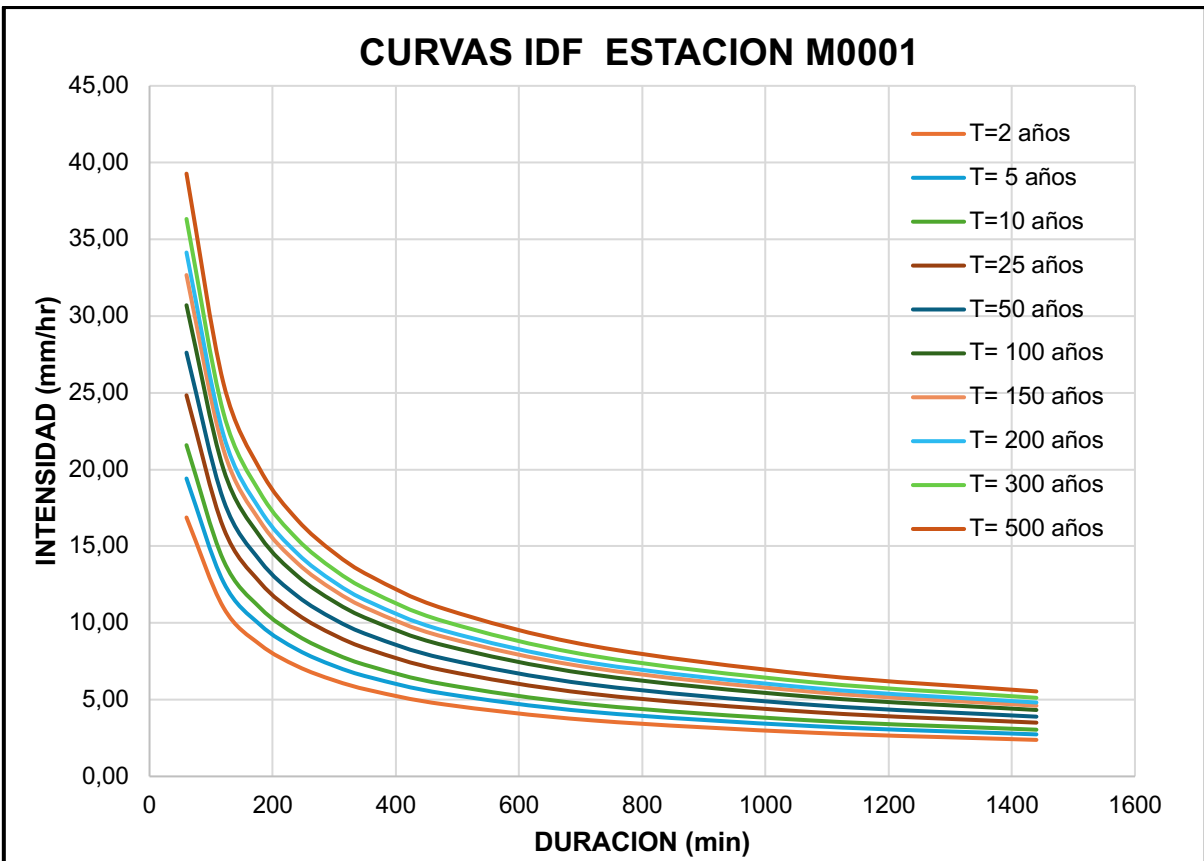
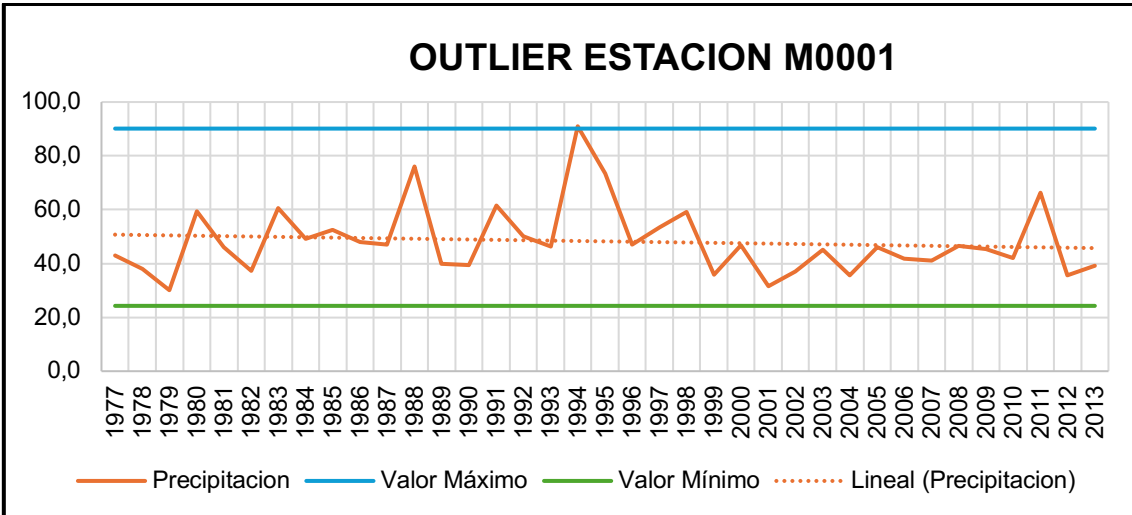


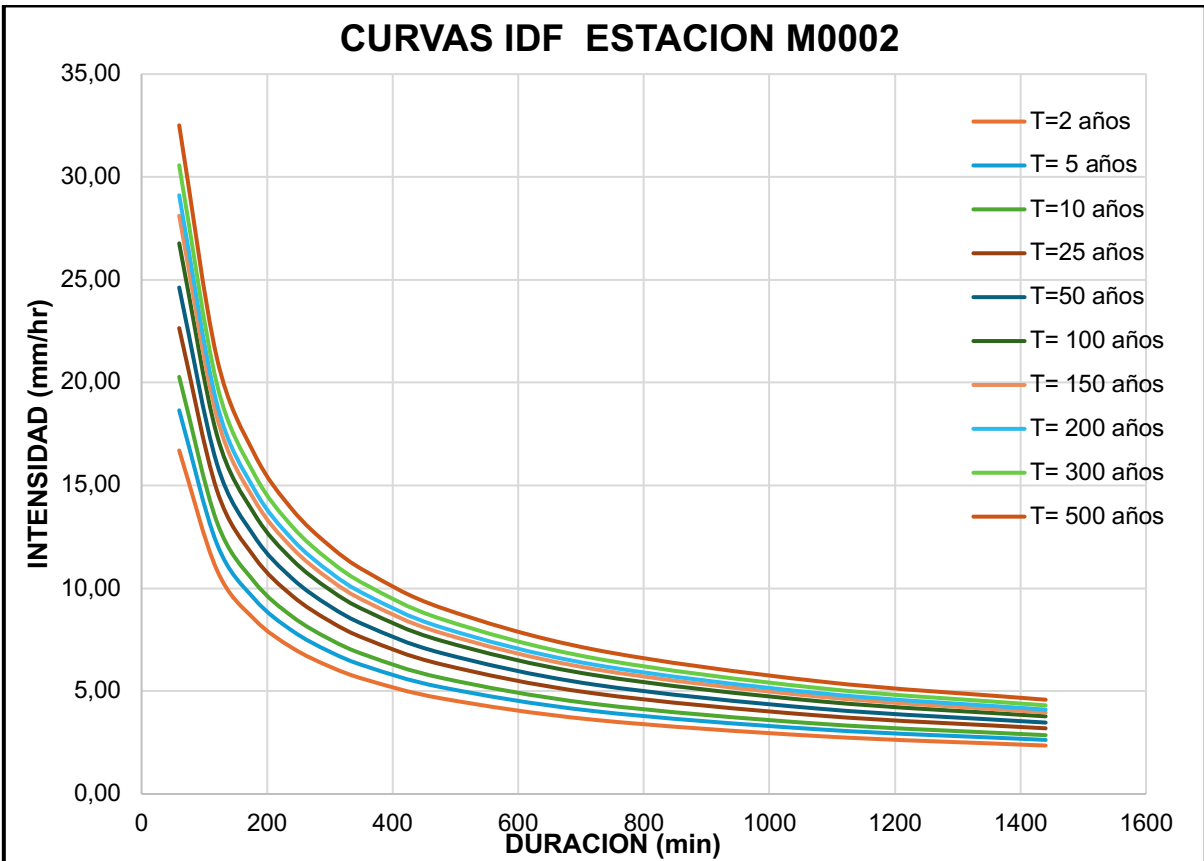
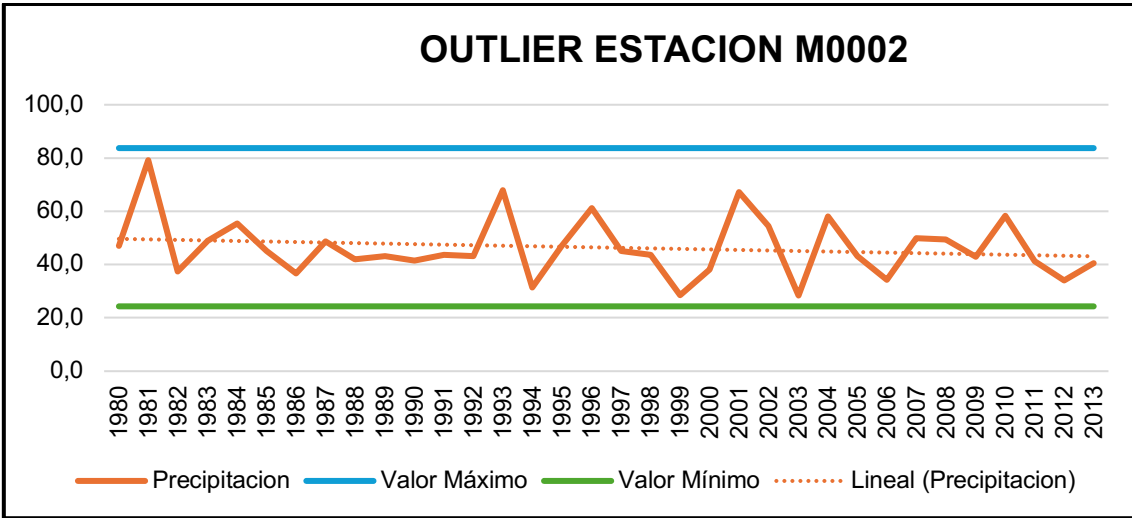
CURVAS IDF - ESTACION M0269



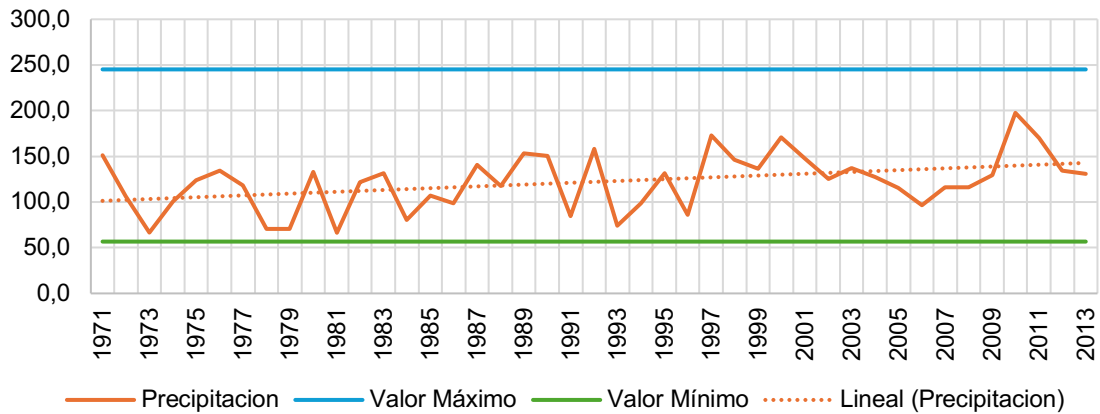


Anexo B: Curvas IDF Y Gráficos De Las Pruebas De Datos Atípicos Proceso 2.

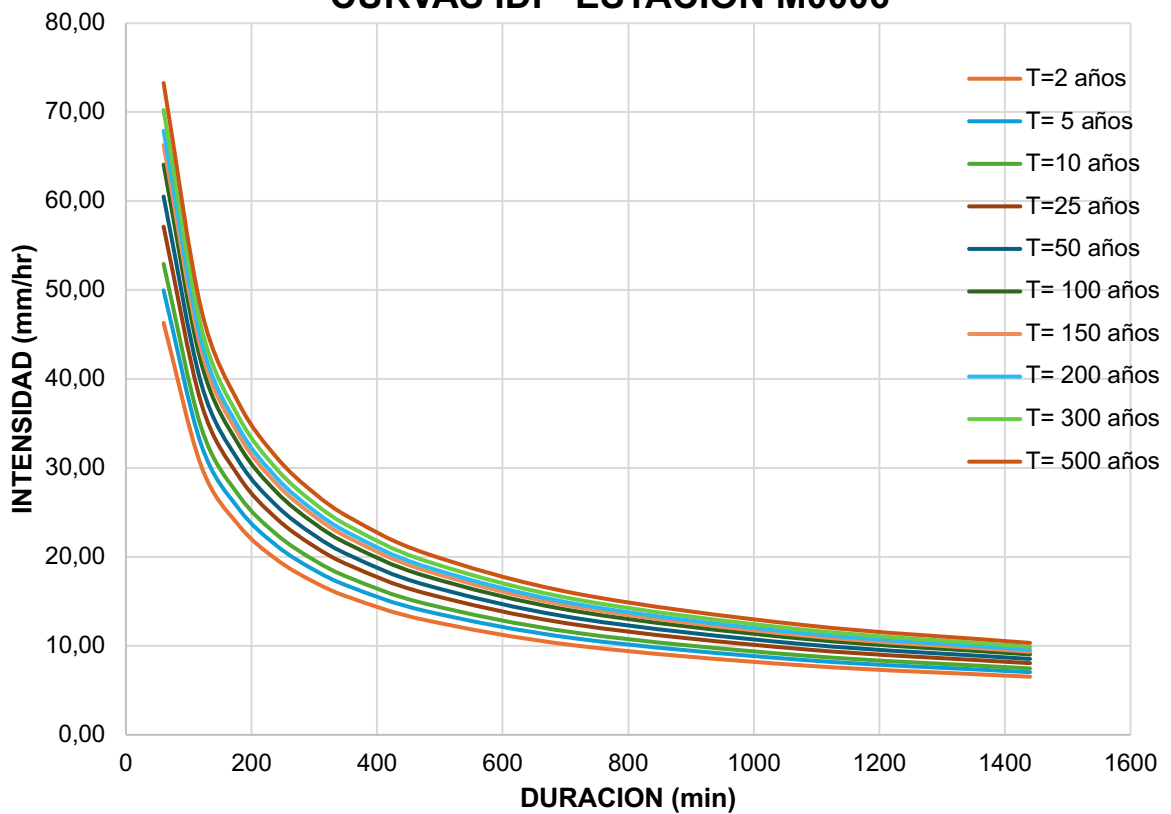


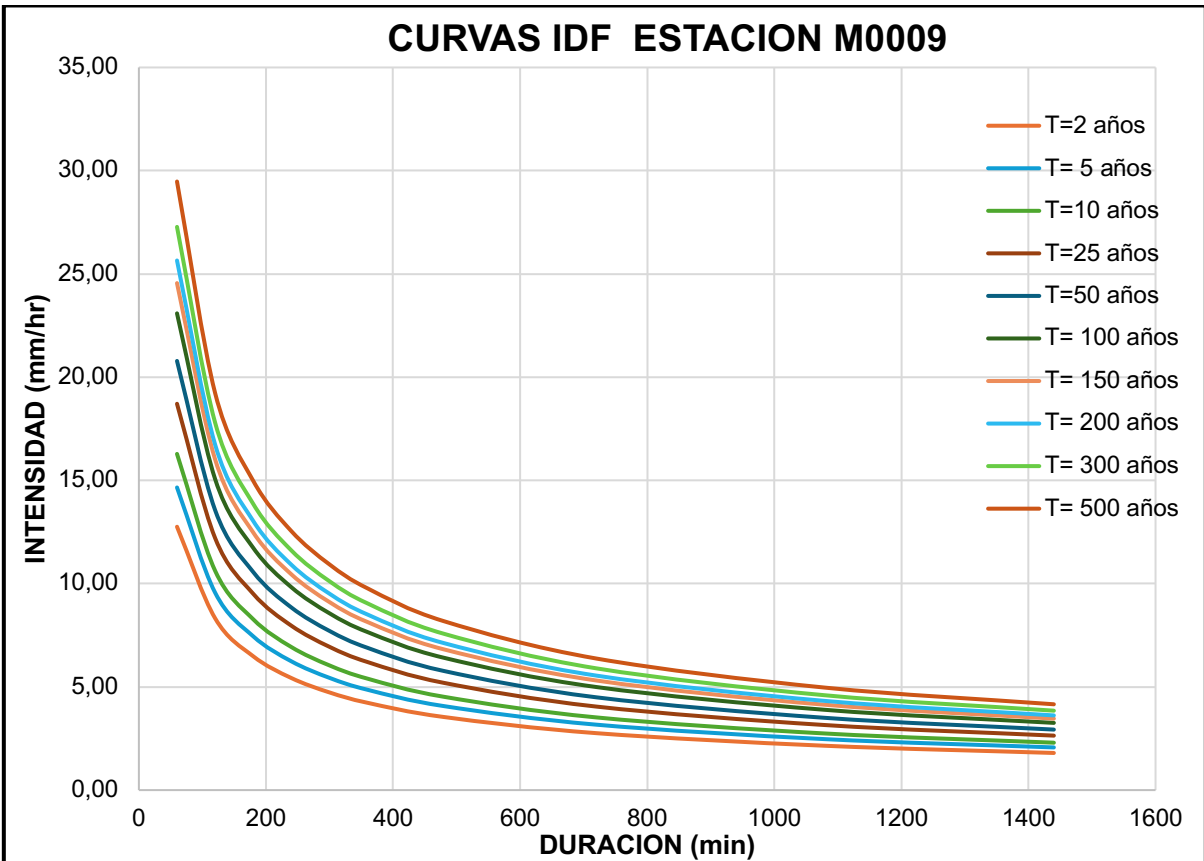


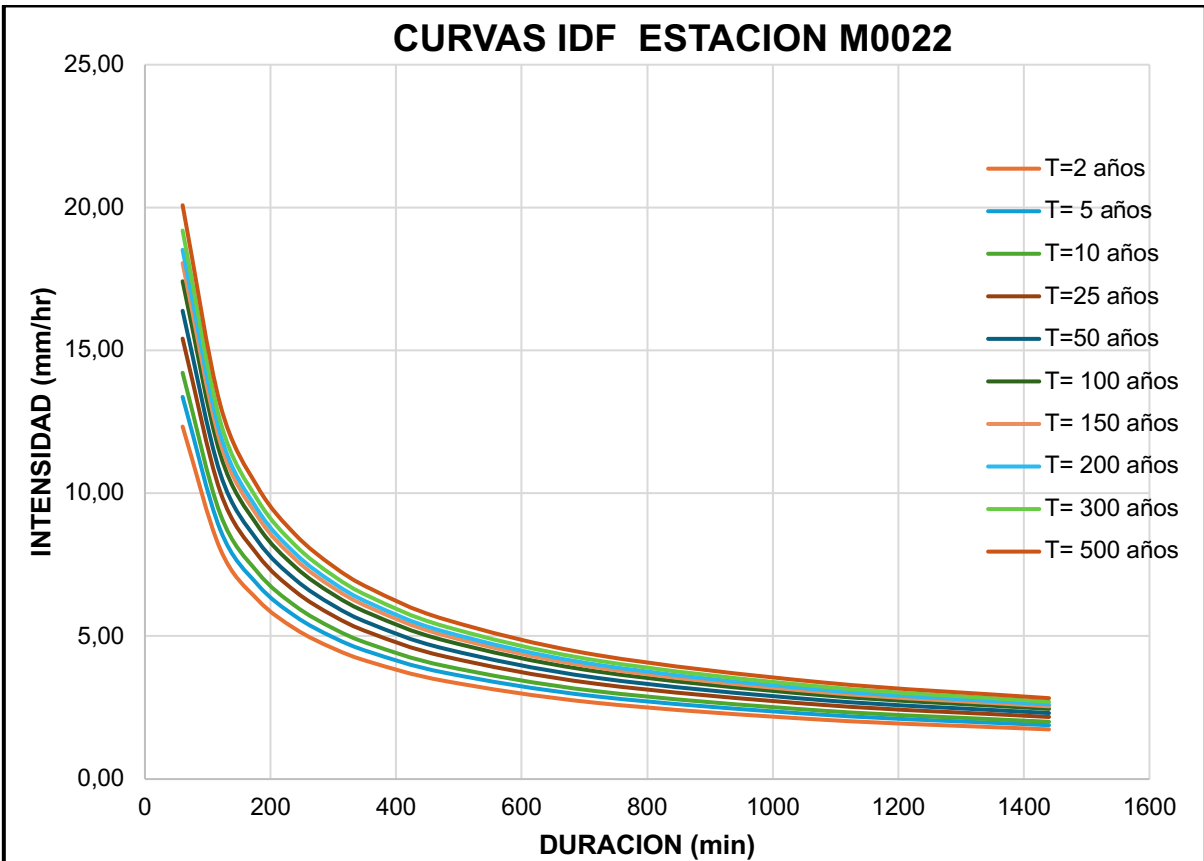
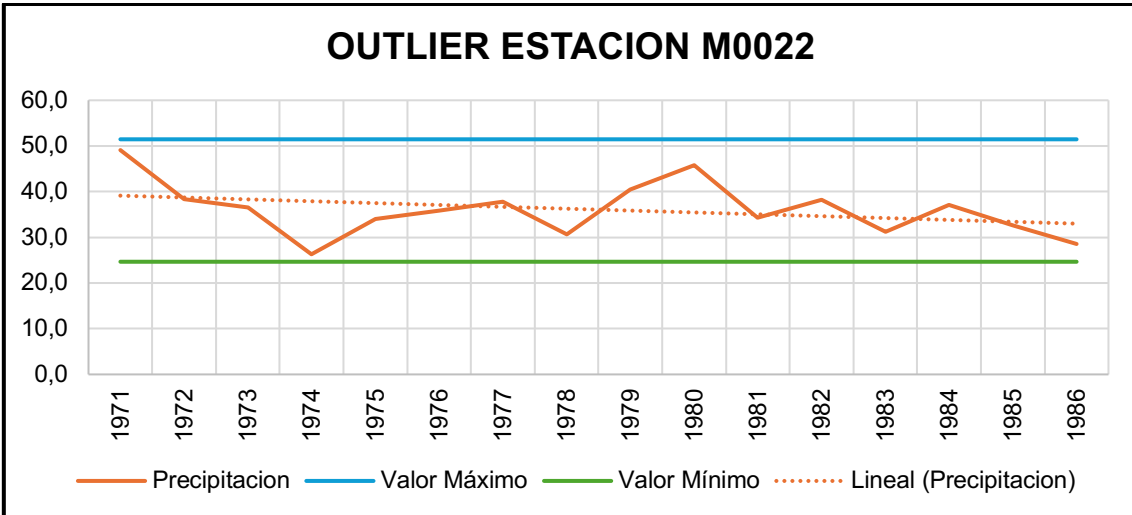
OUTLIER ESTACION M0006

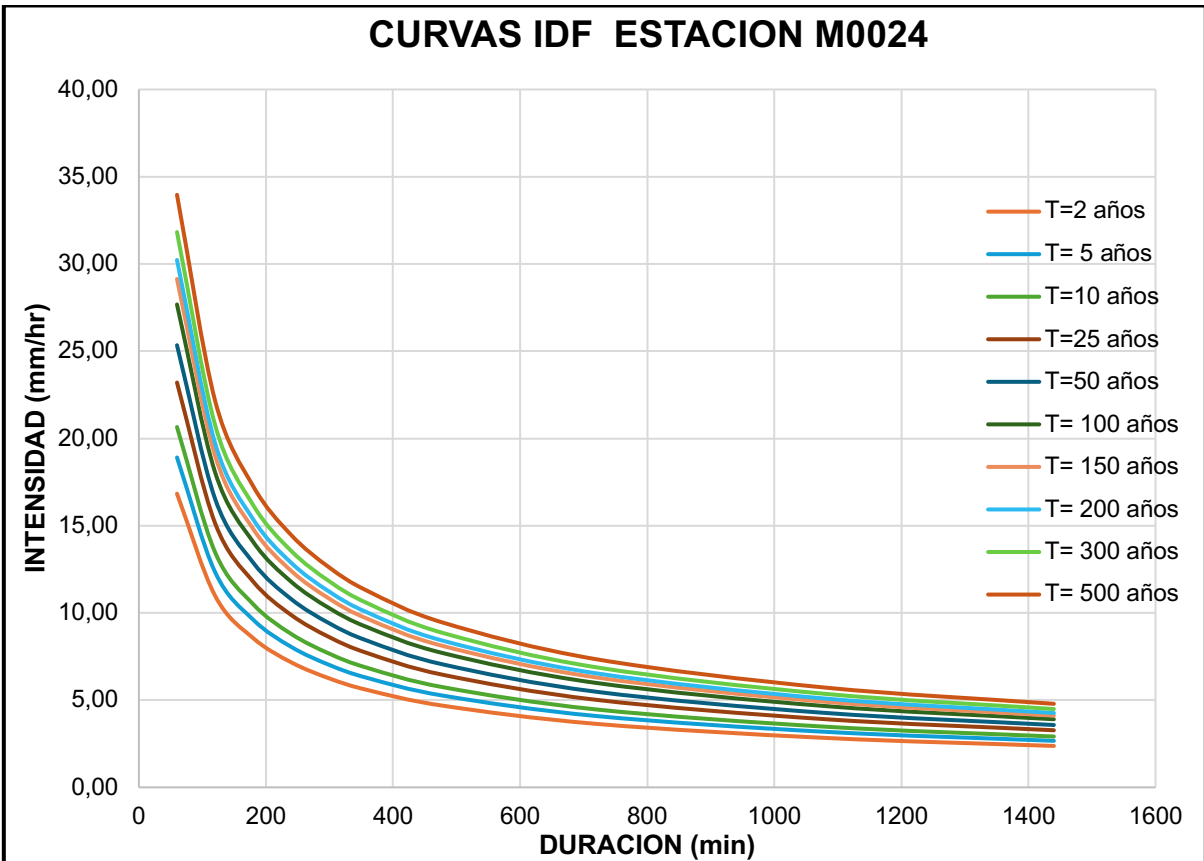
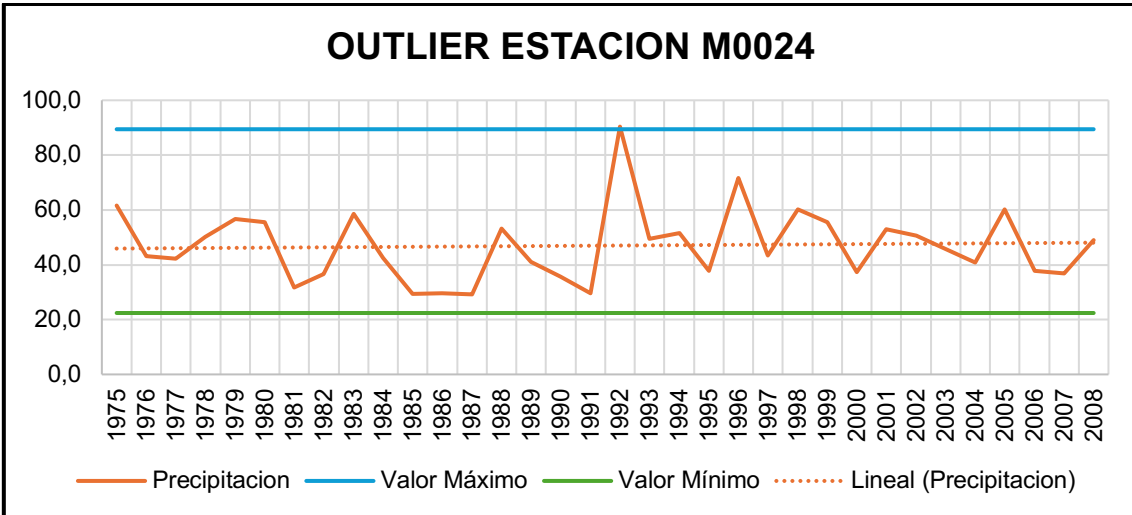


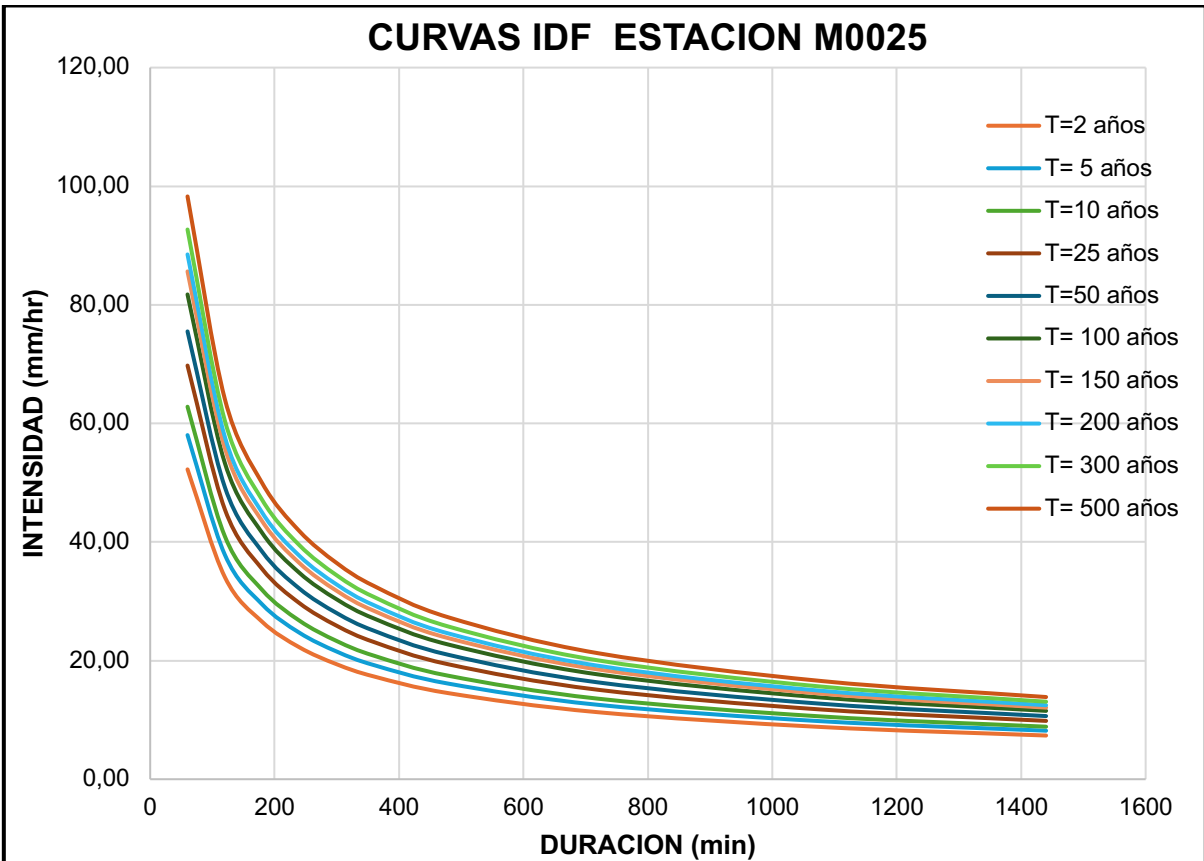
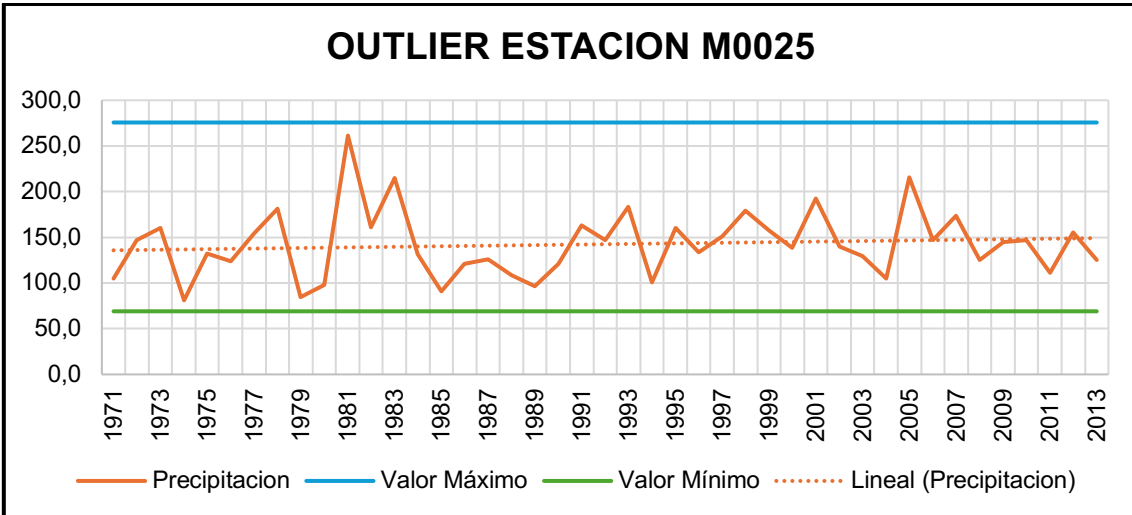
CURVAS IDF ESTACION M0006



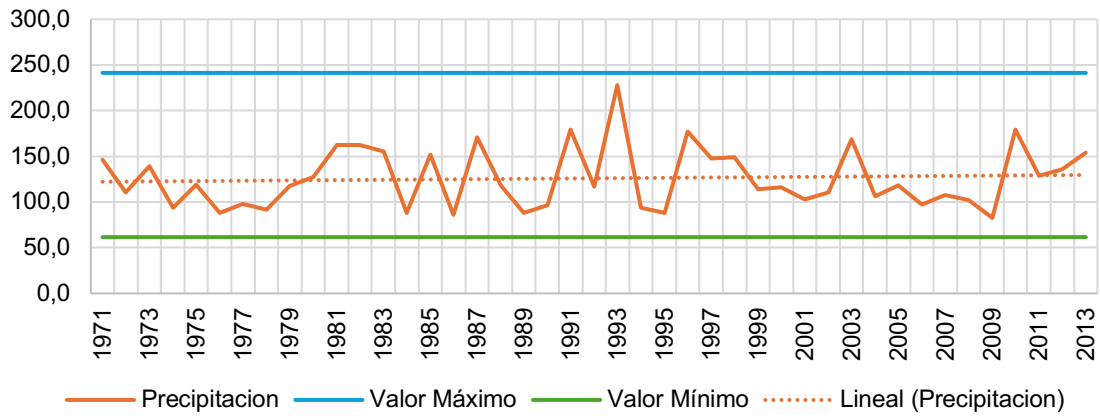




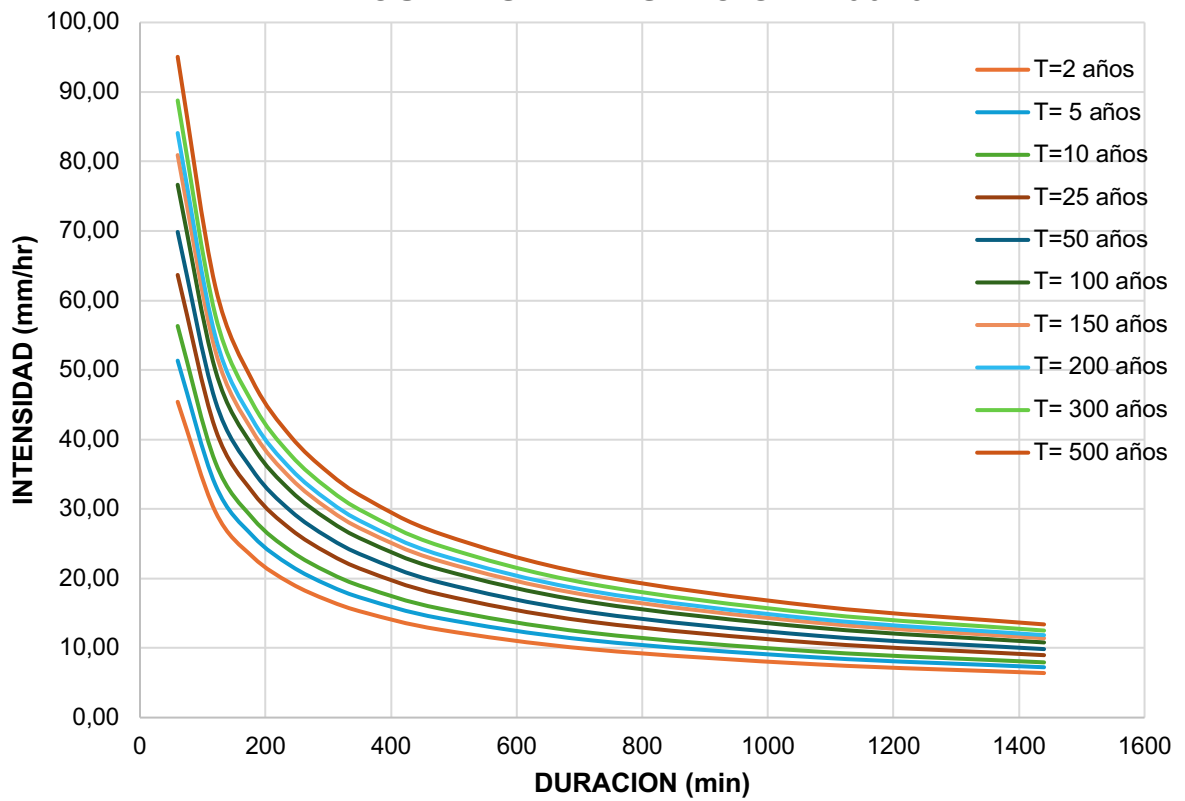


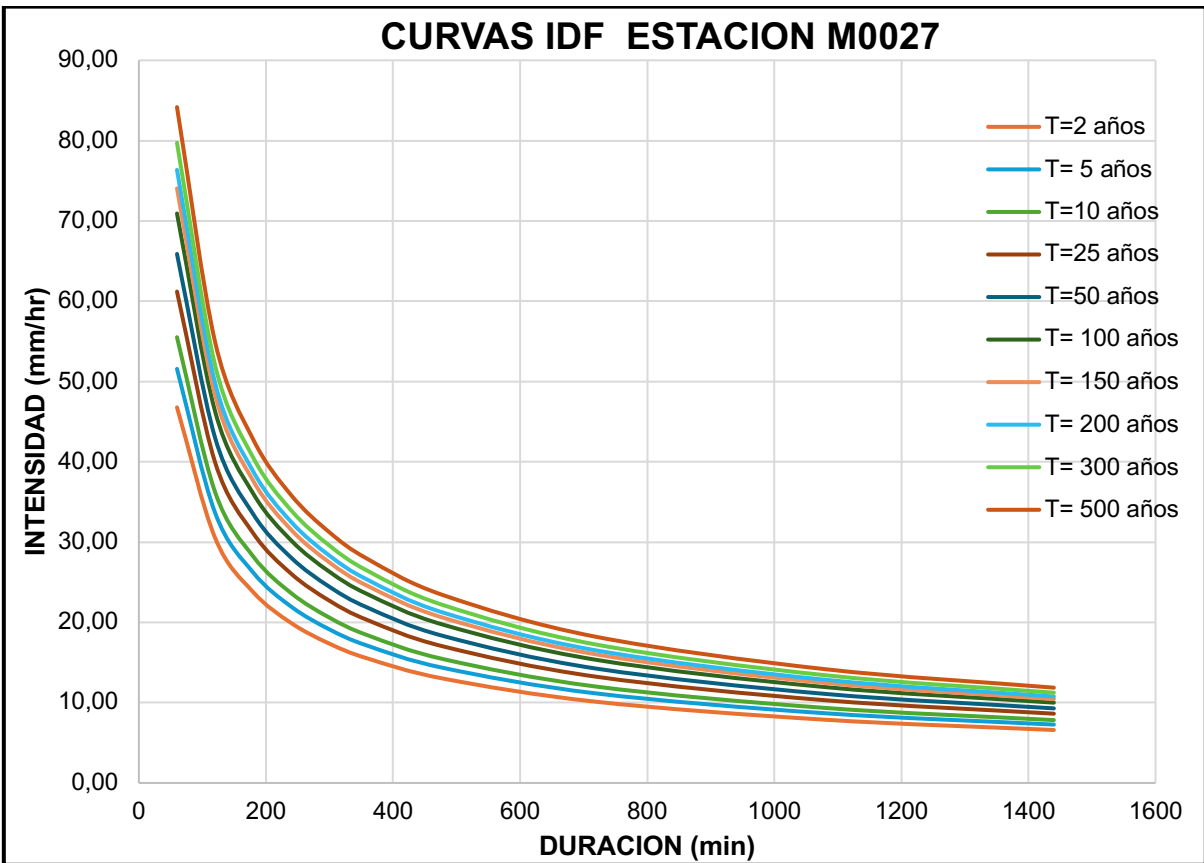
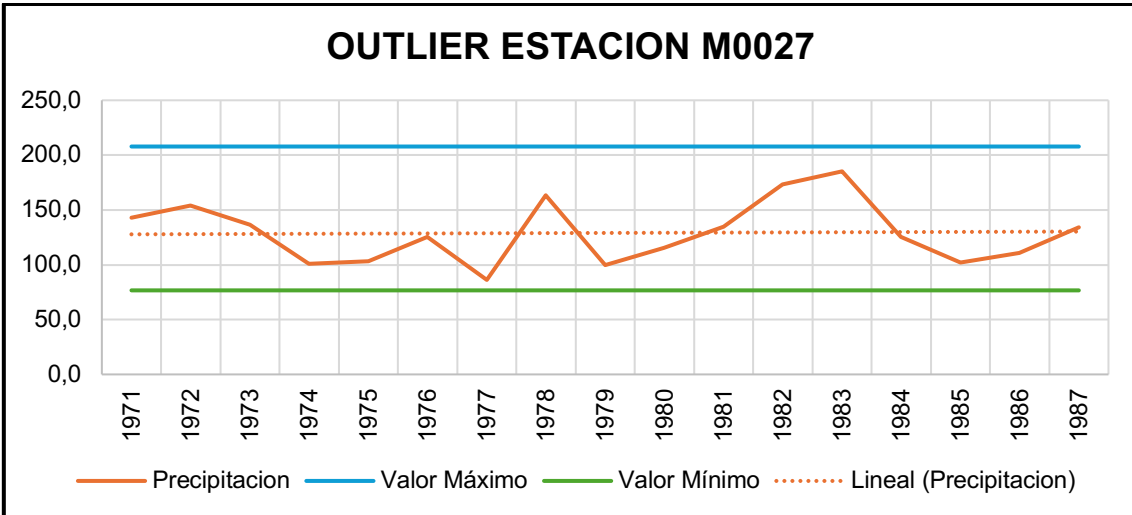


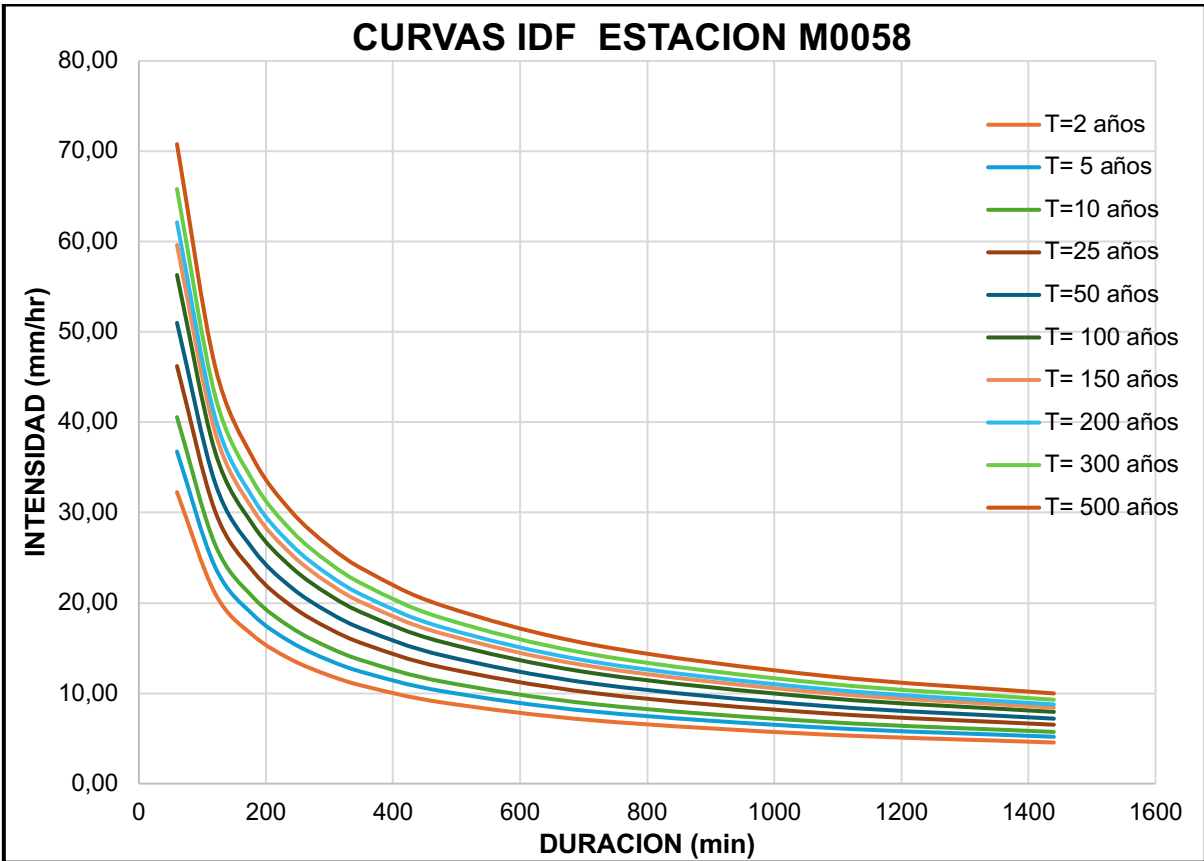
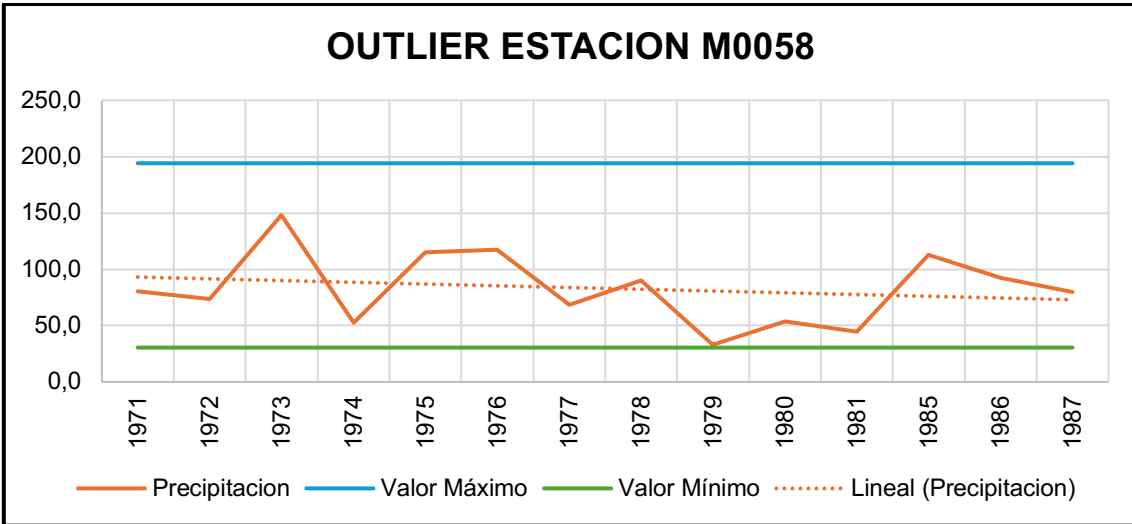
OUTLIER ESTACION M0026

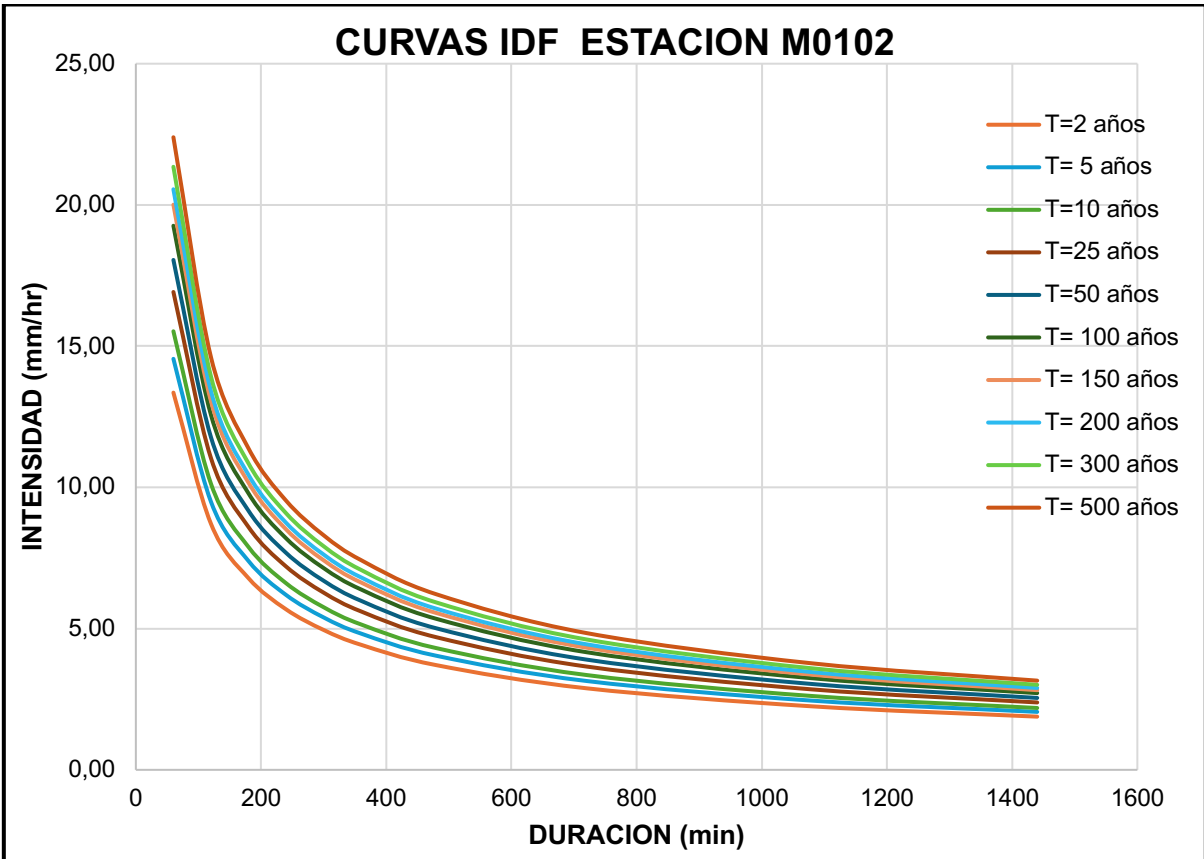
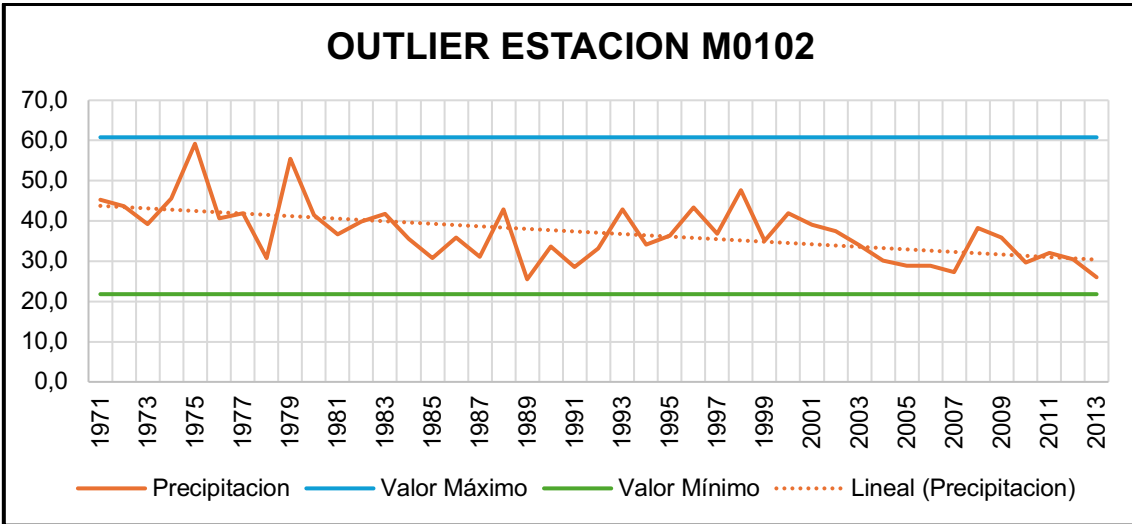


CURVAS IDF ESTACION M0026

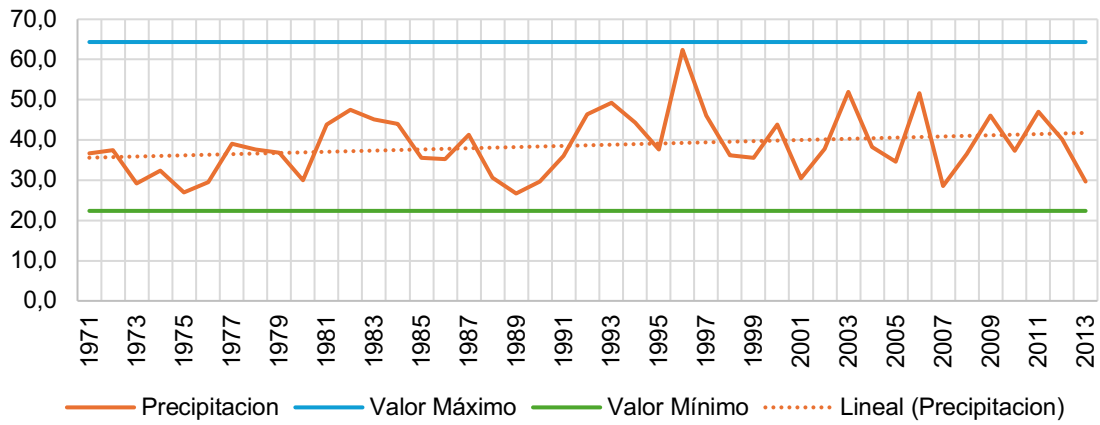




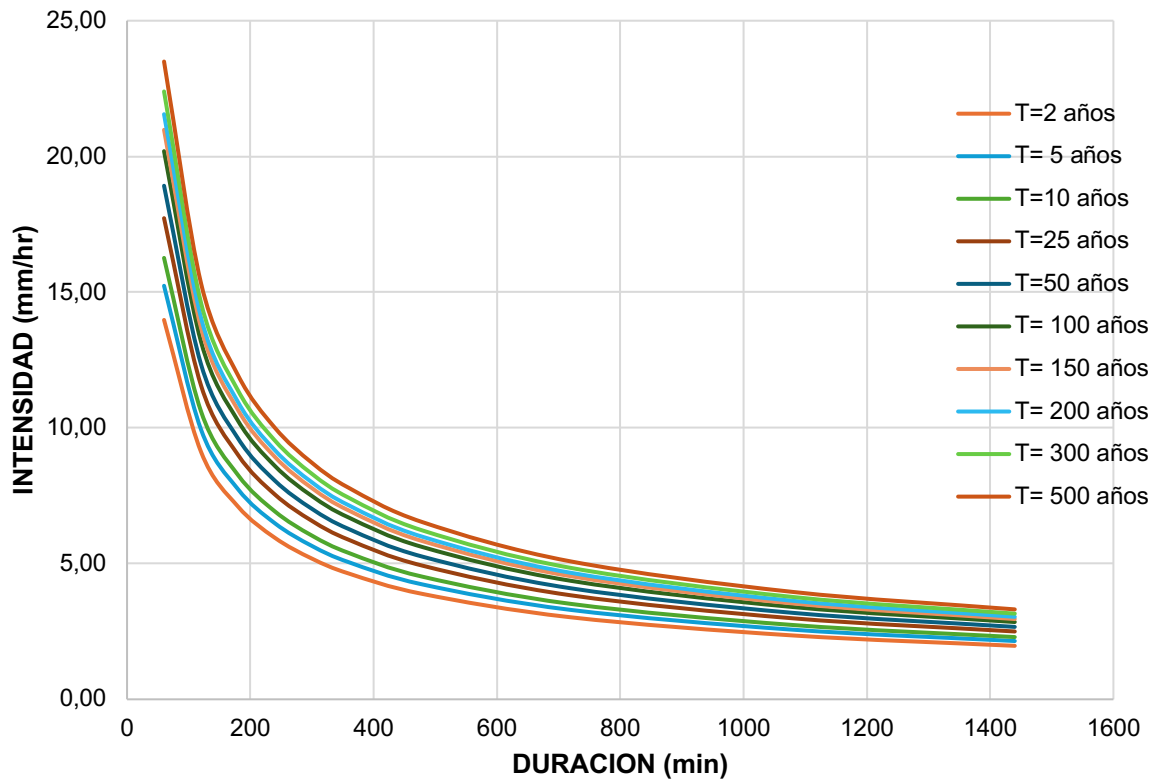


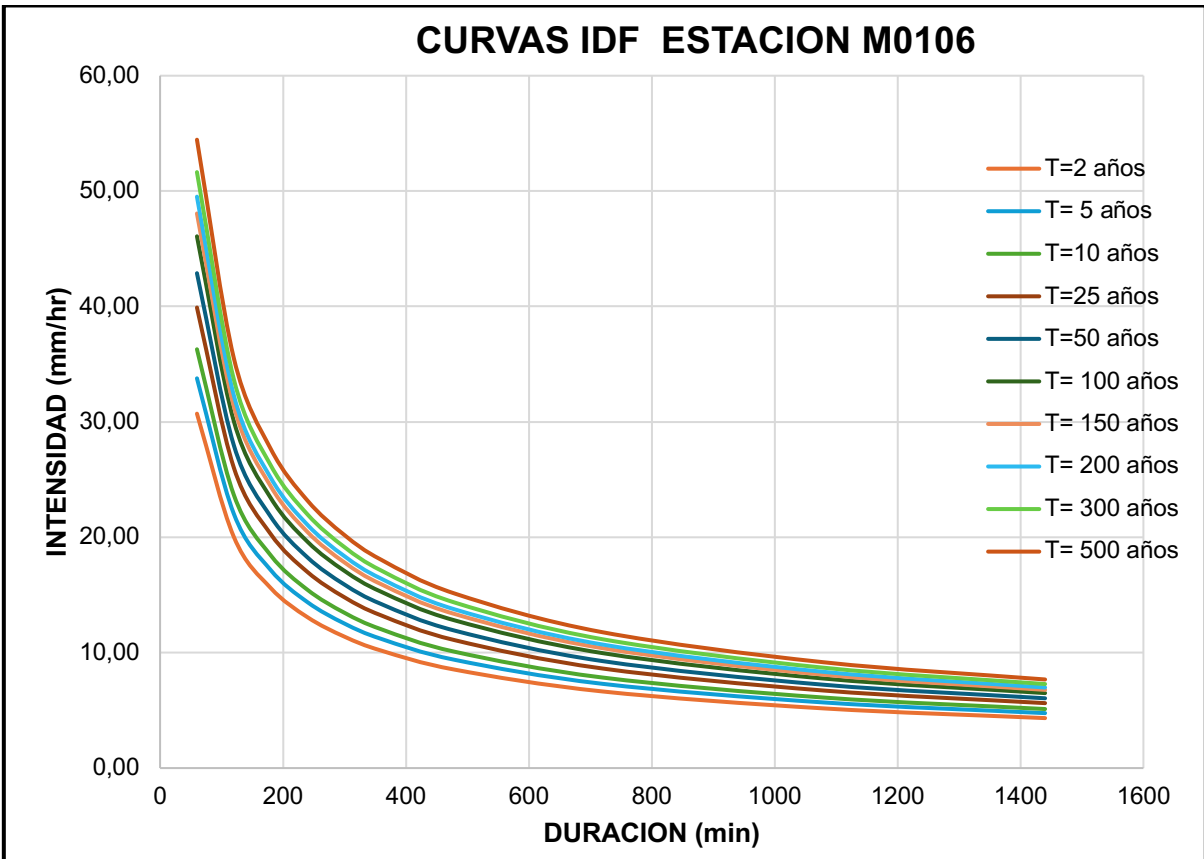
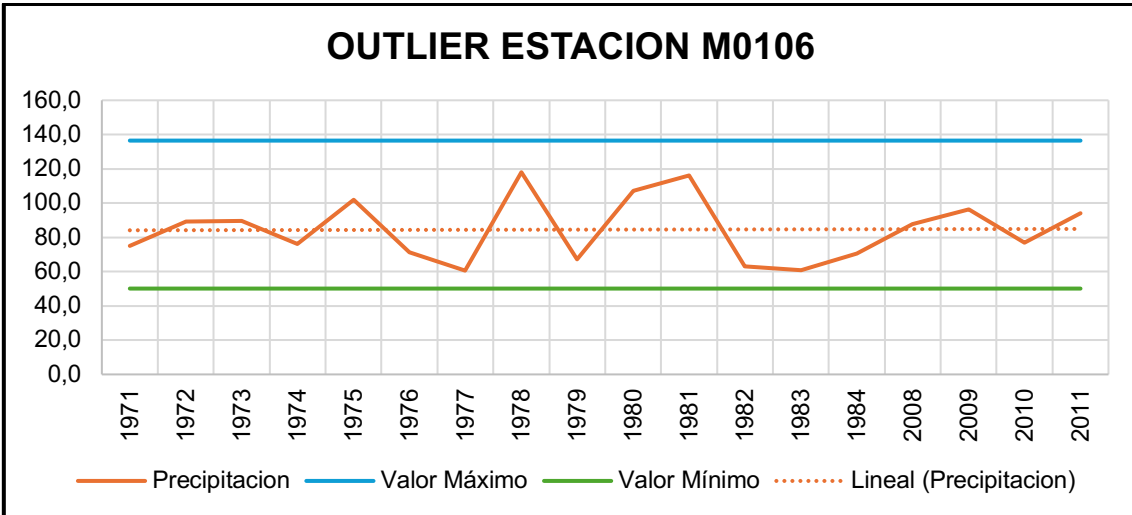


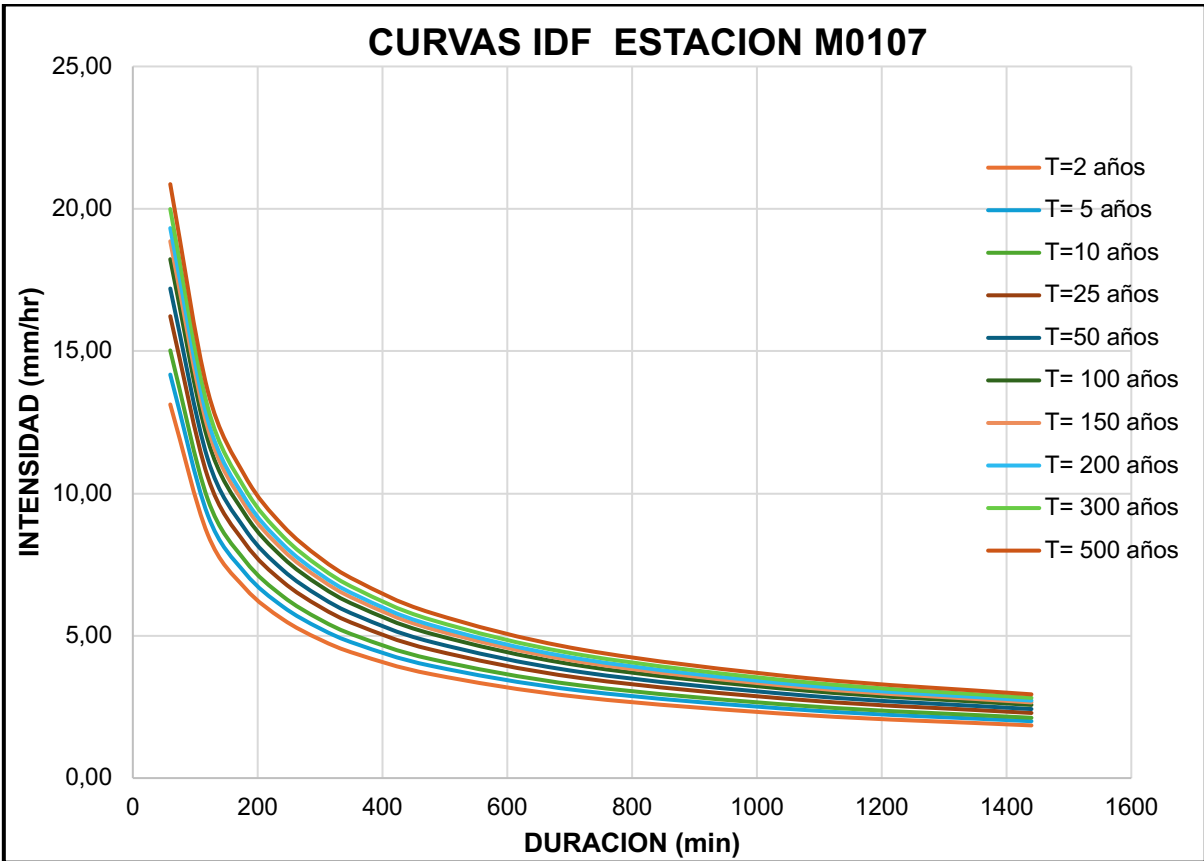
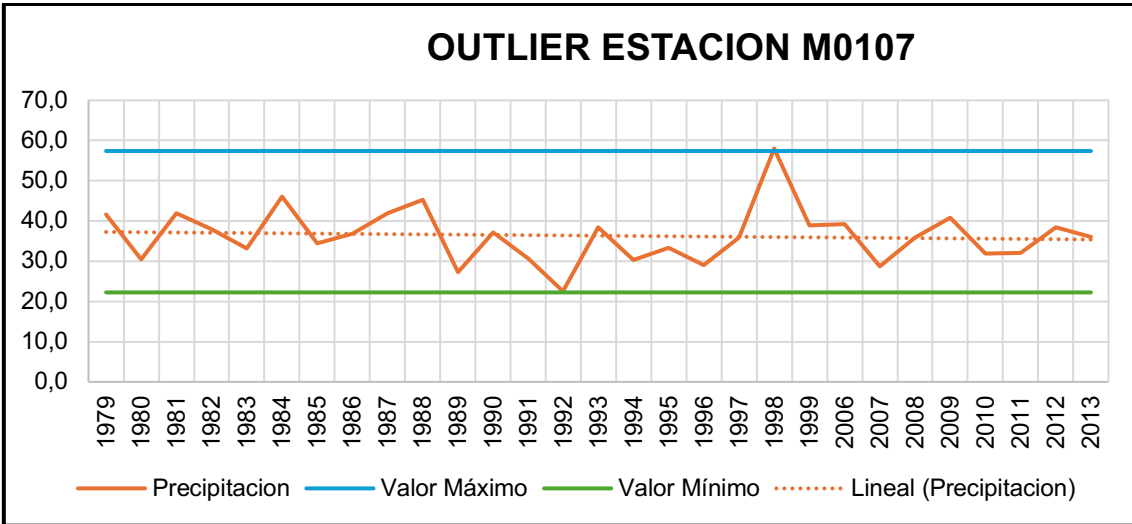
OUTLIER ESTACION M0105



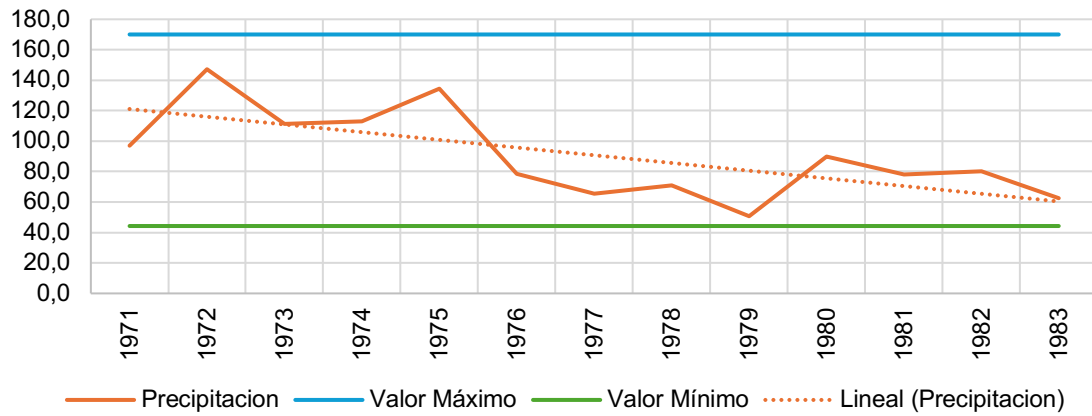
CURVAS IDF ESTACION M0105



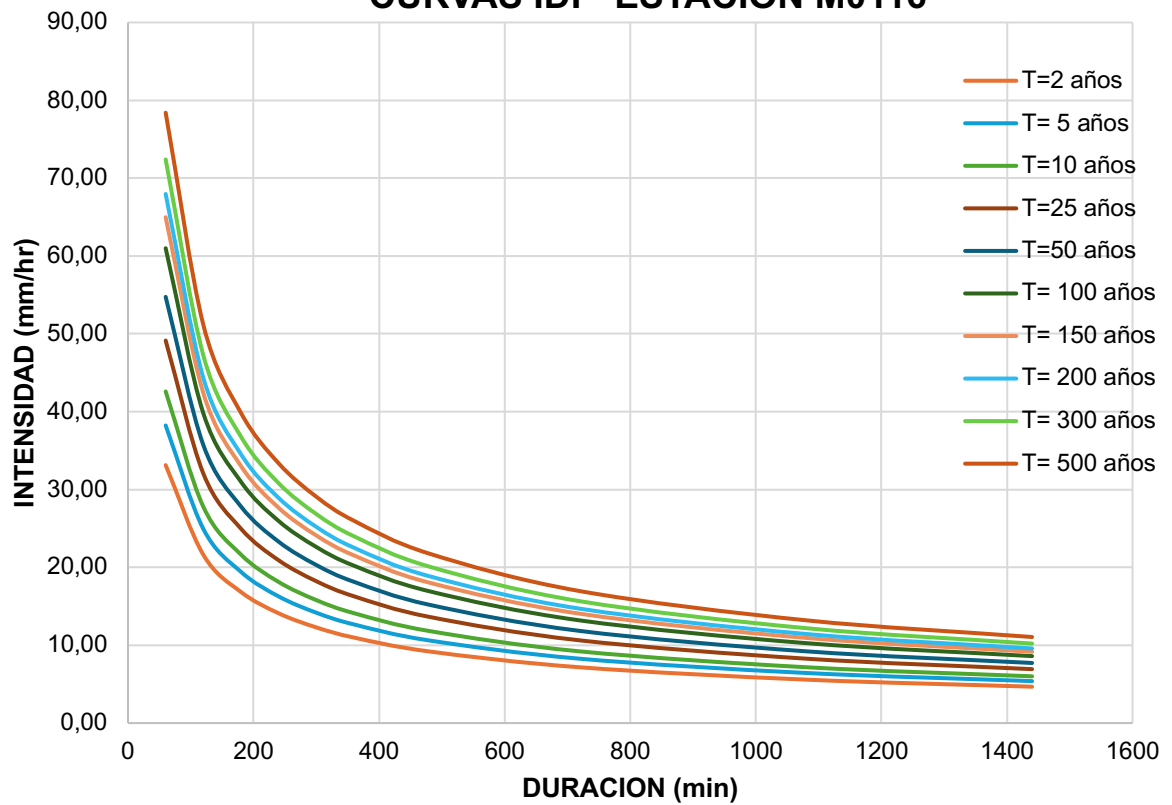


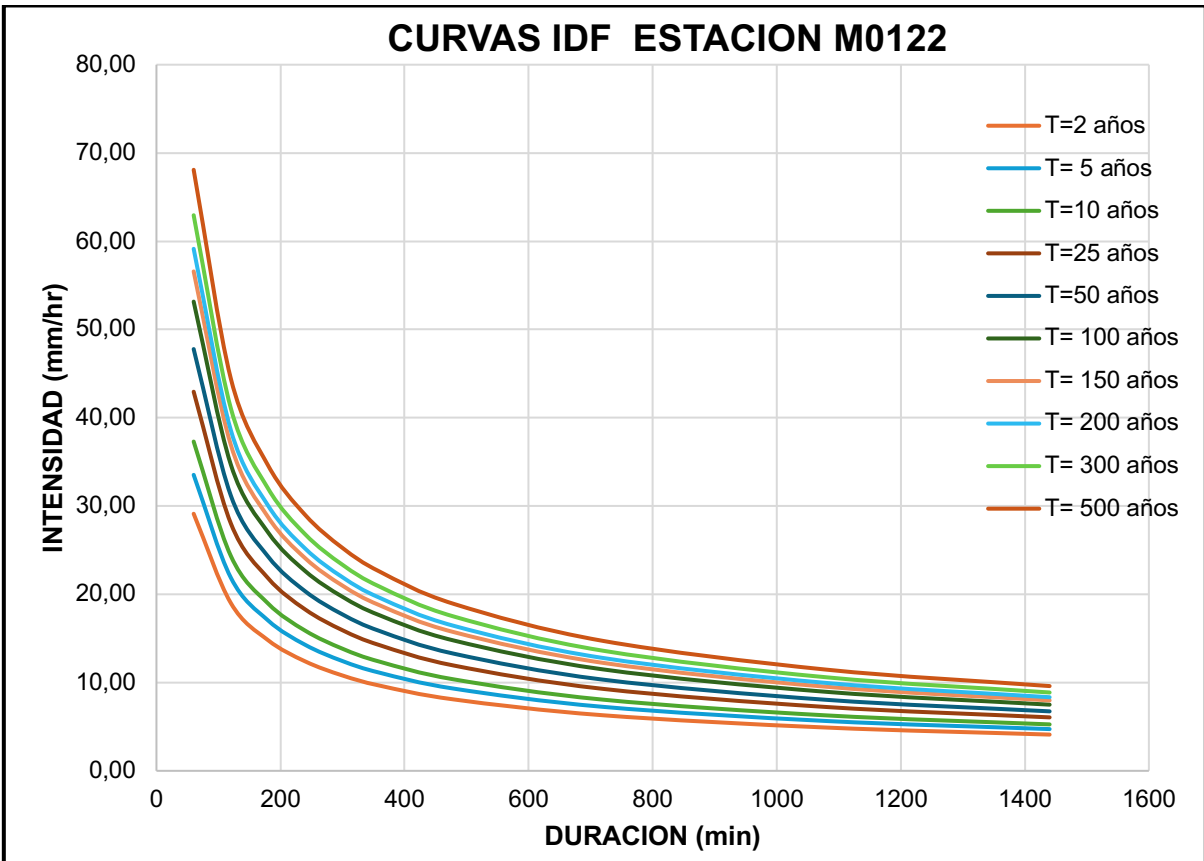
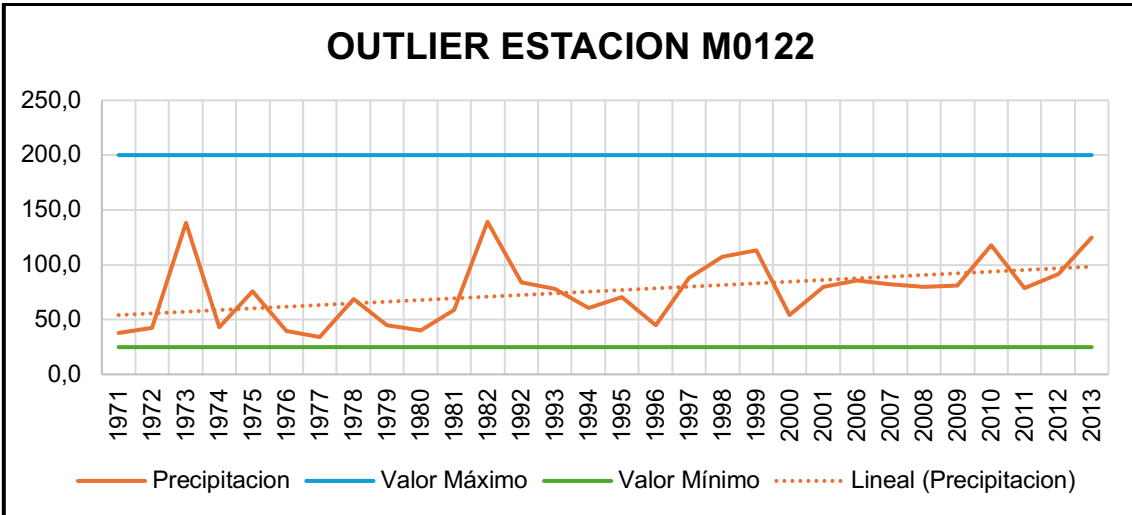


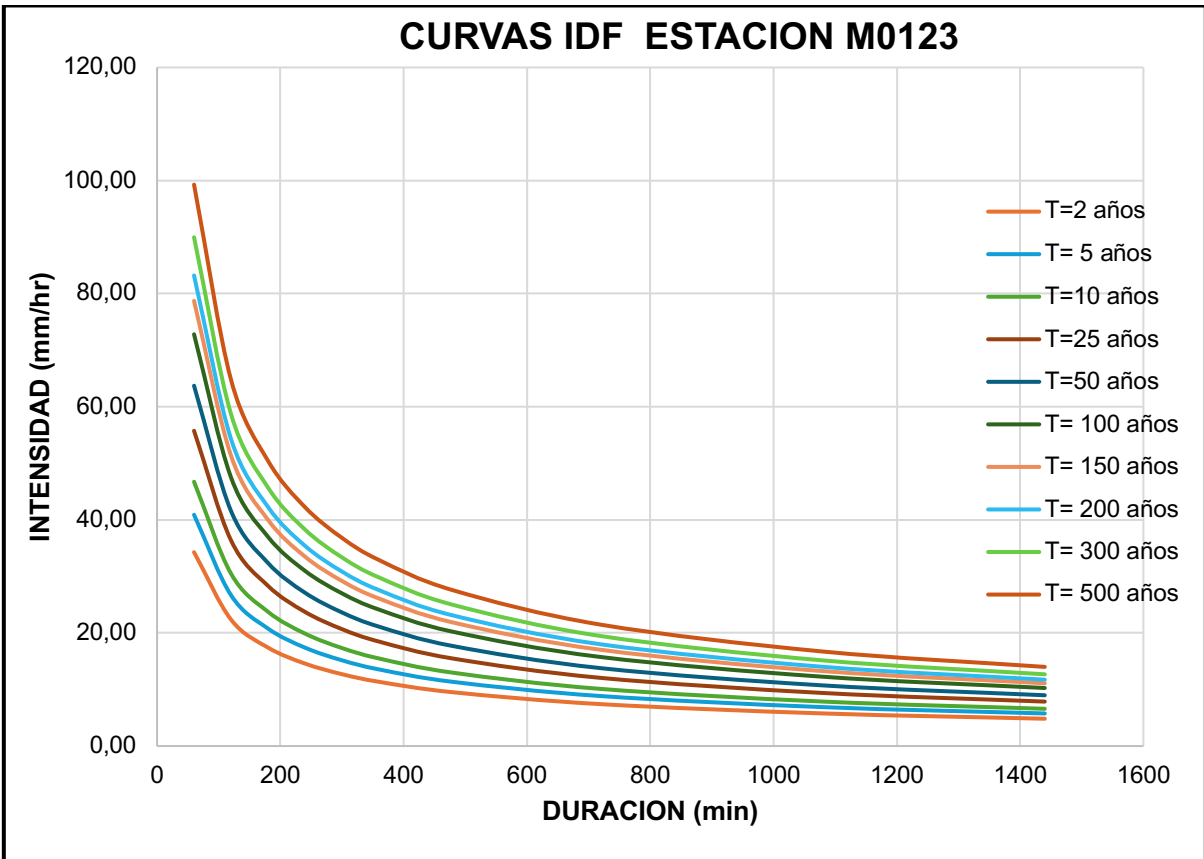
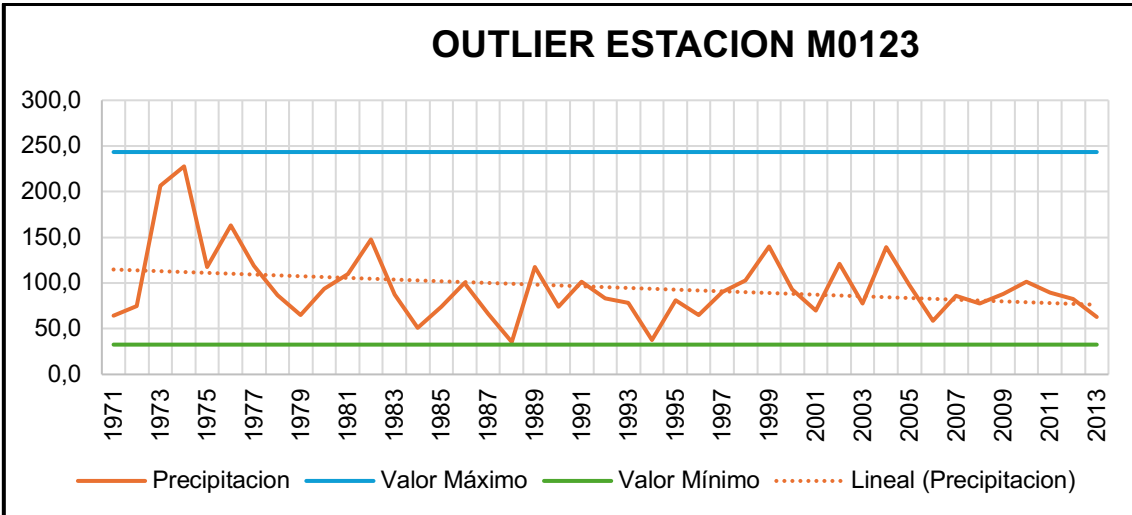
OUTLIER ESTACION M0116

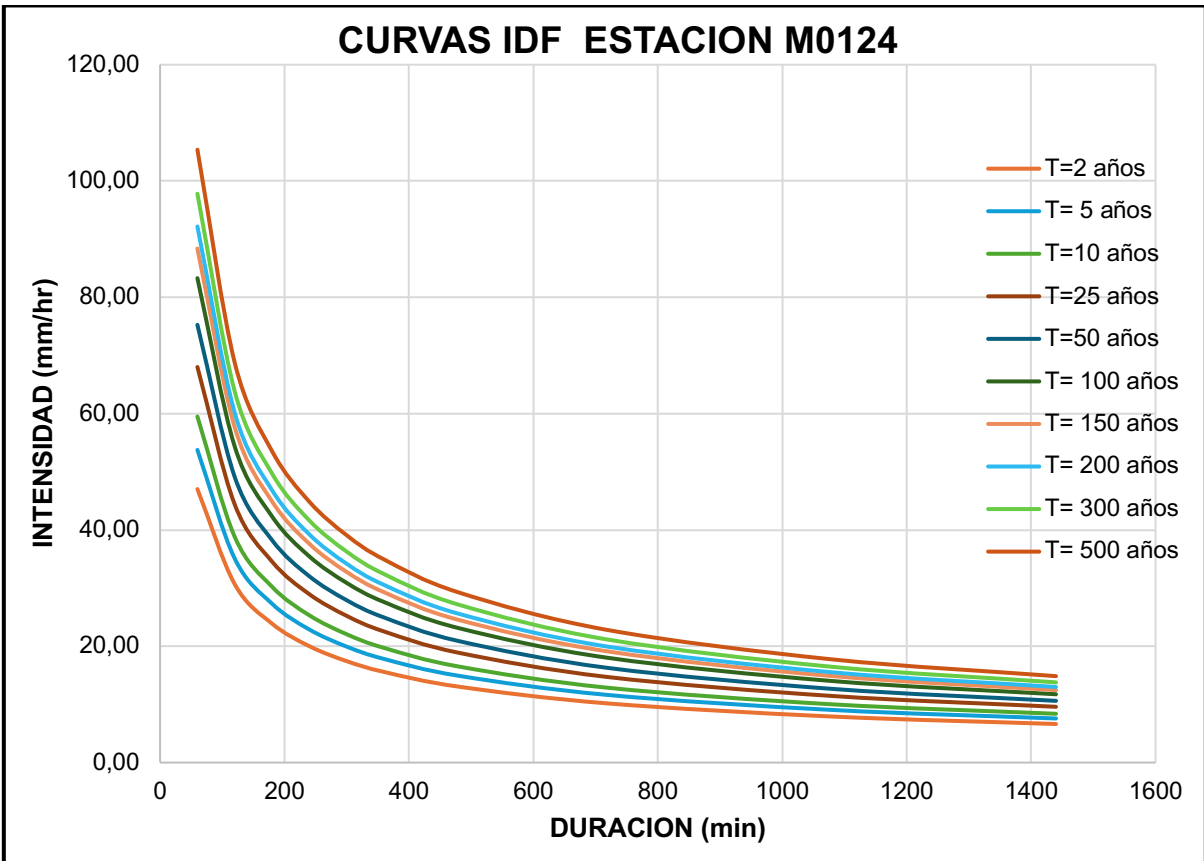
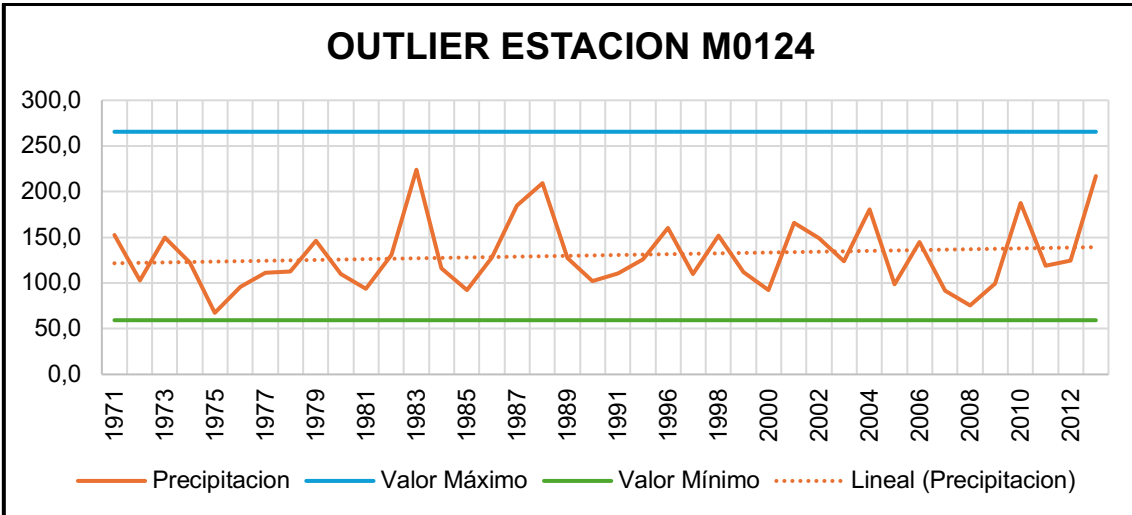


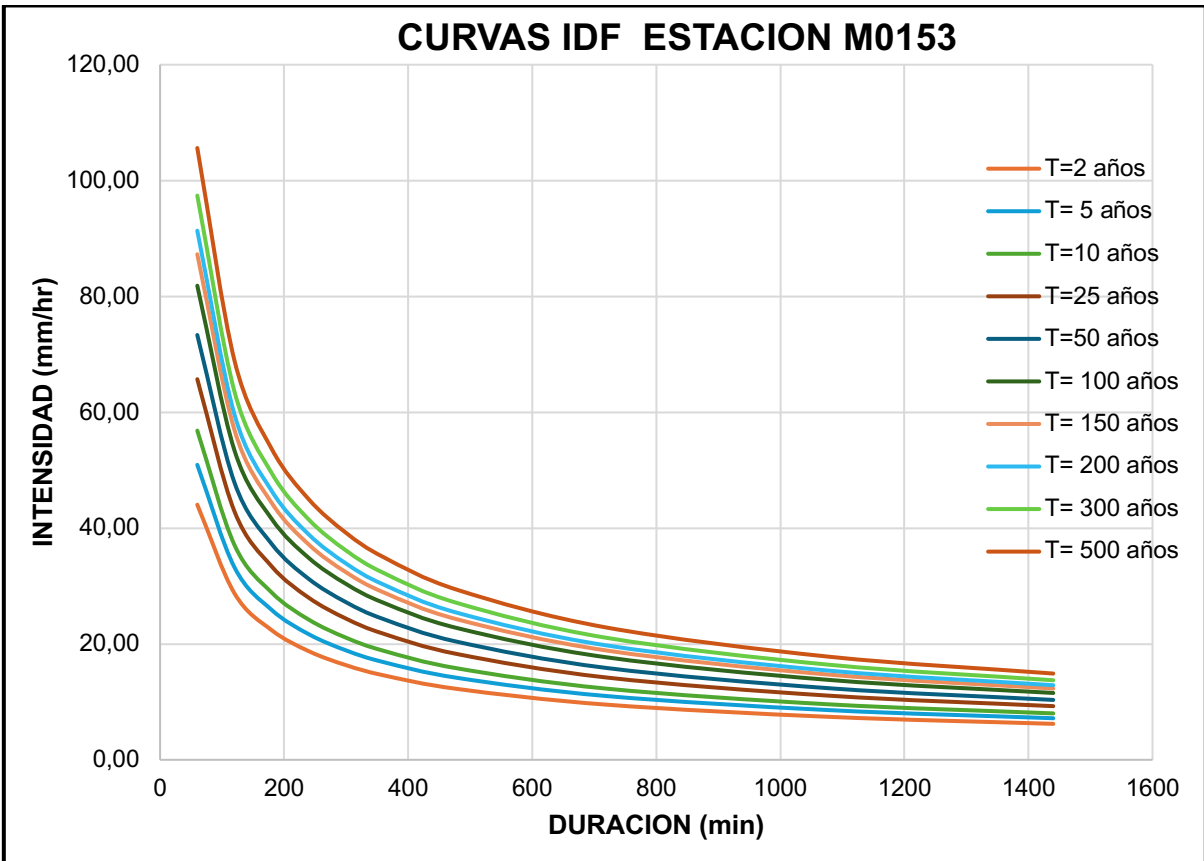
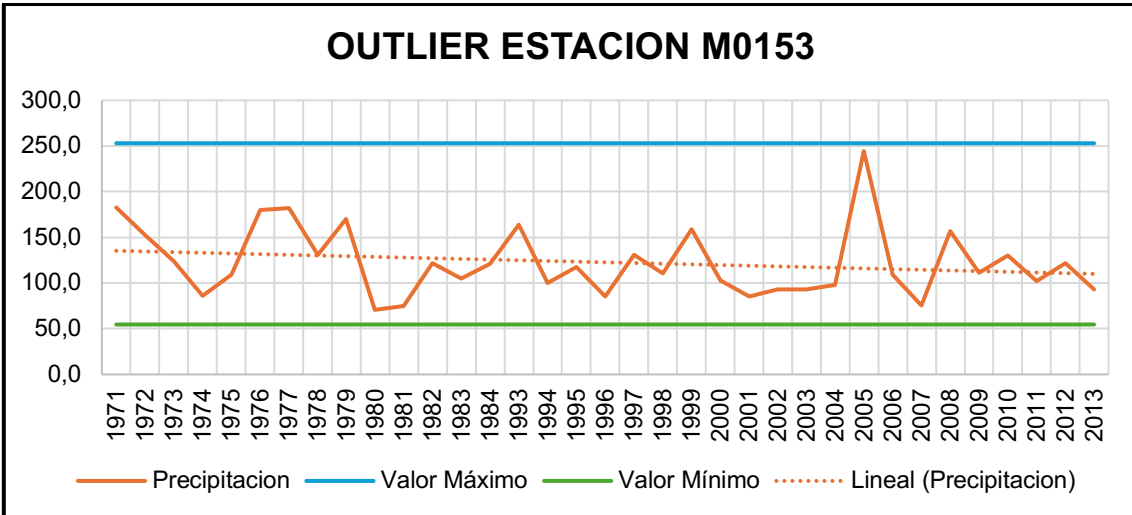
CURVAS IDF ESTACION M0116

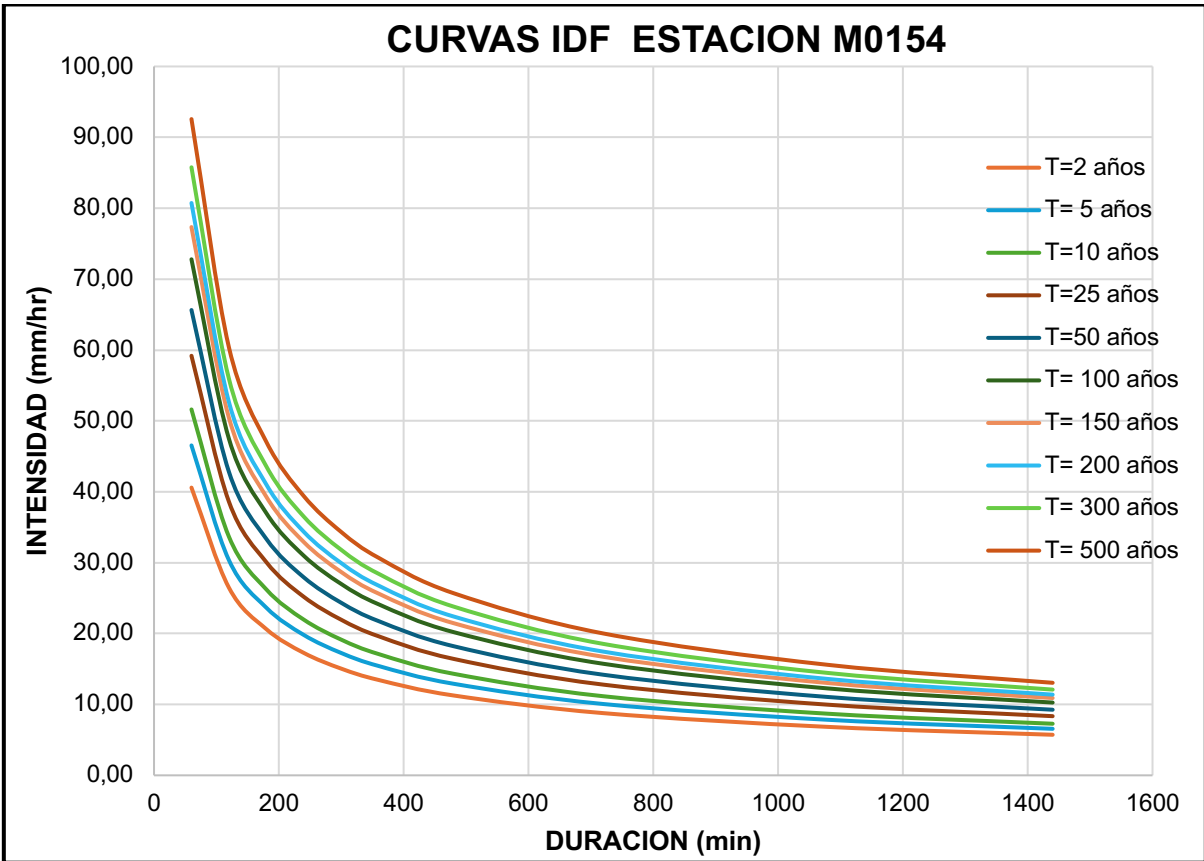
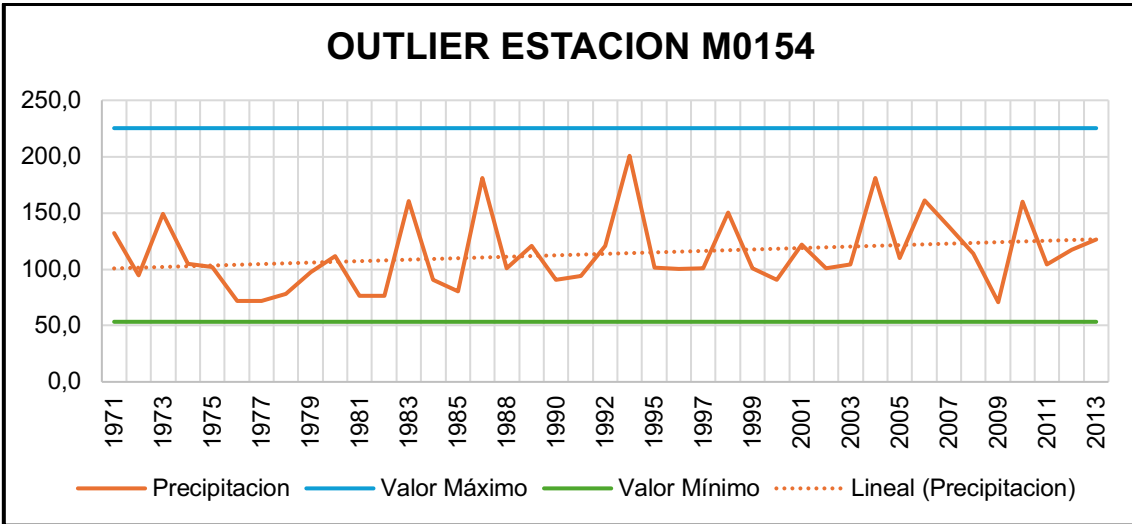


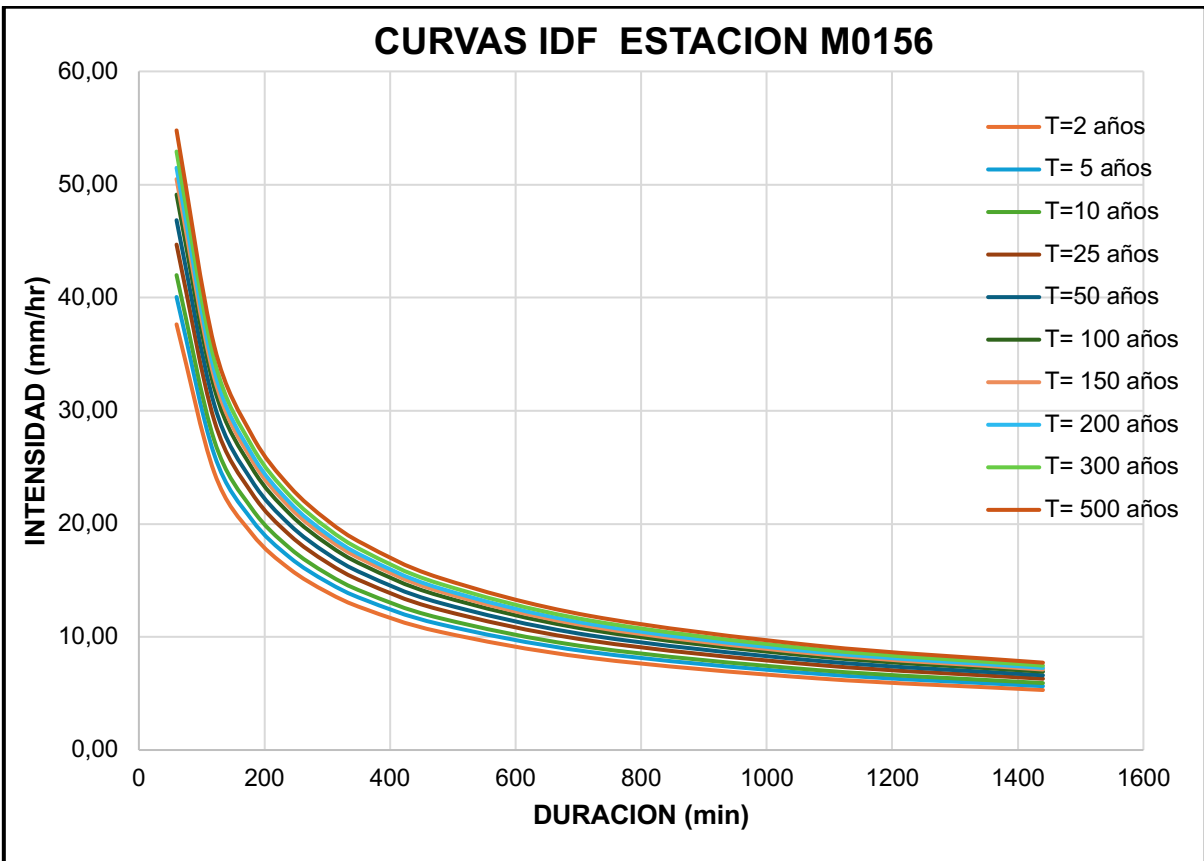
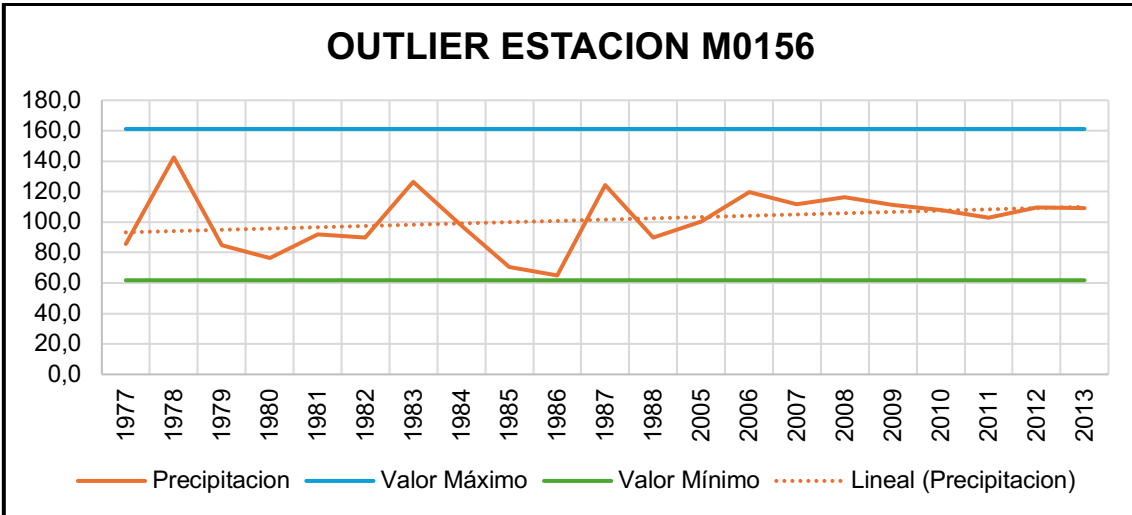




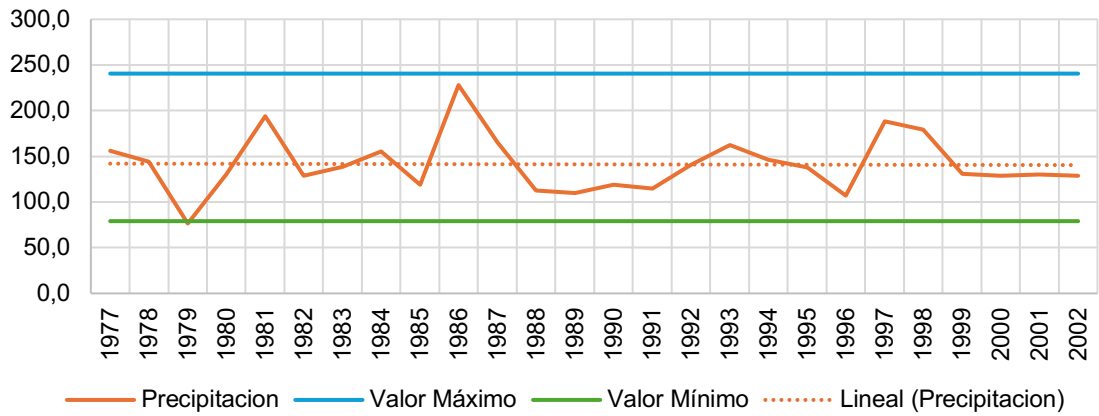




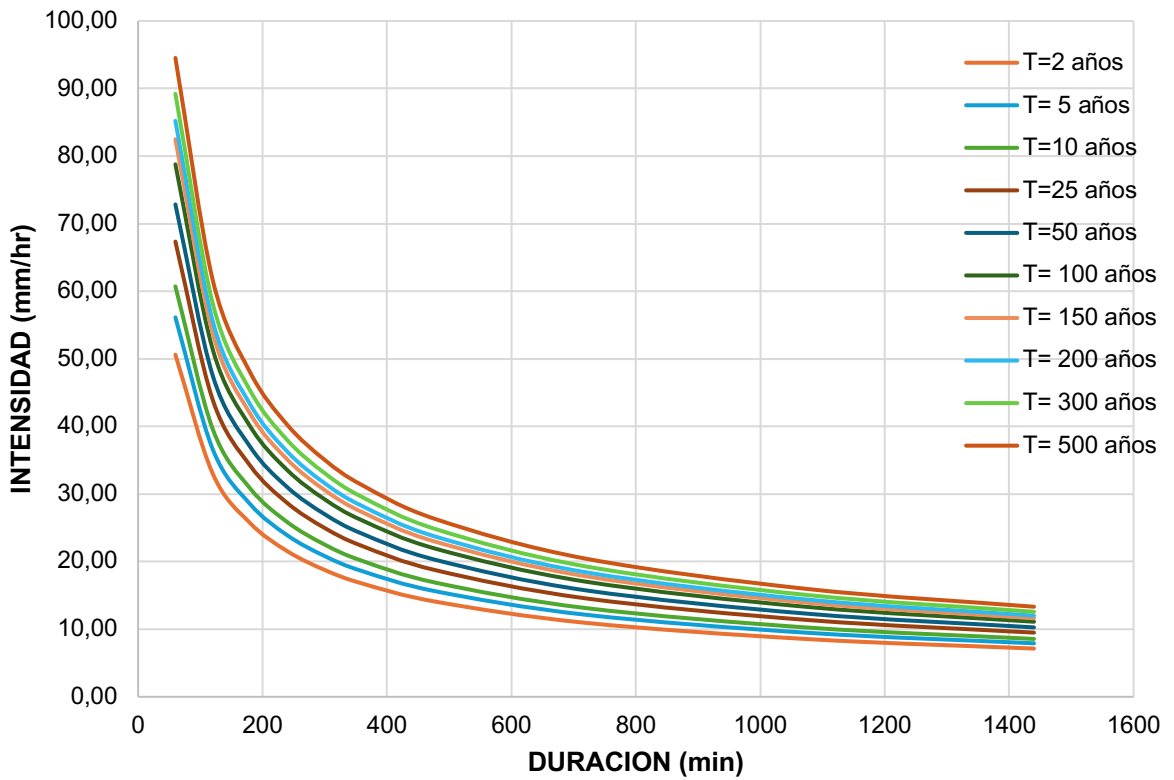




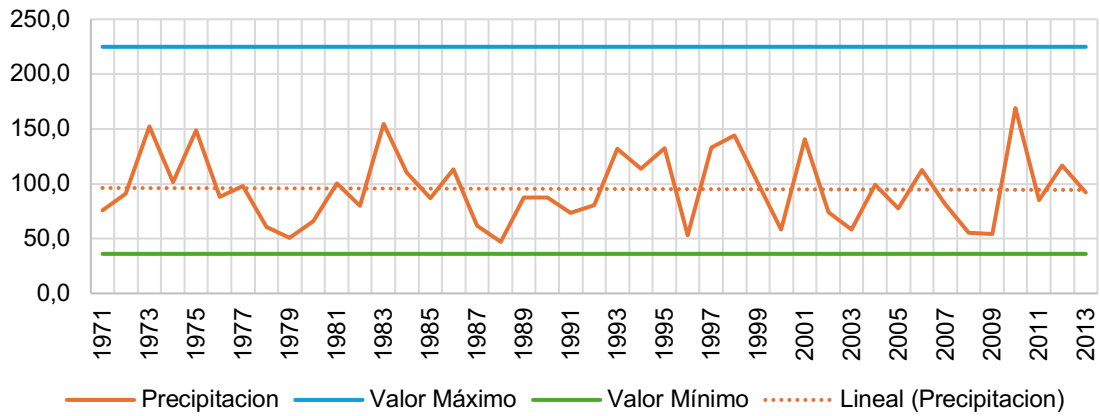
OUTLIER ESTACION M0160



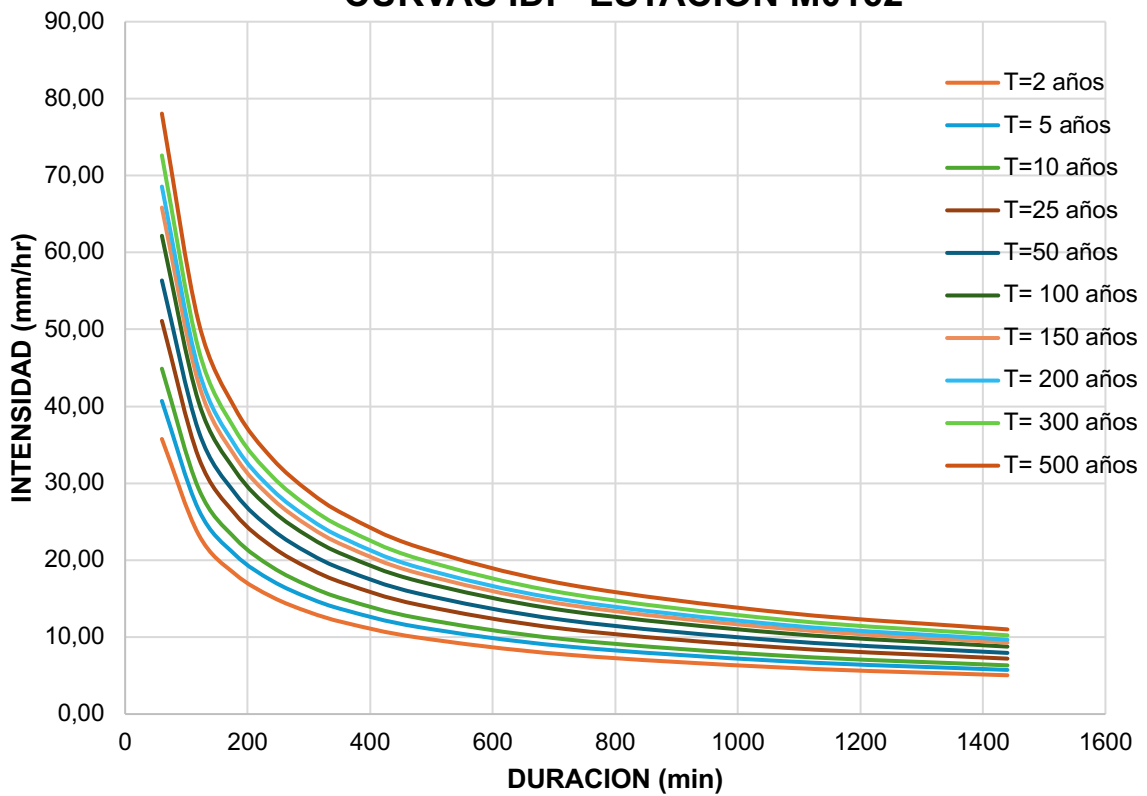
CURVAS IDF ESTACION M0160

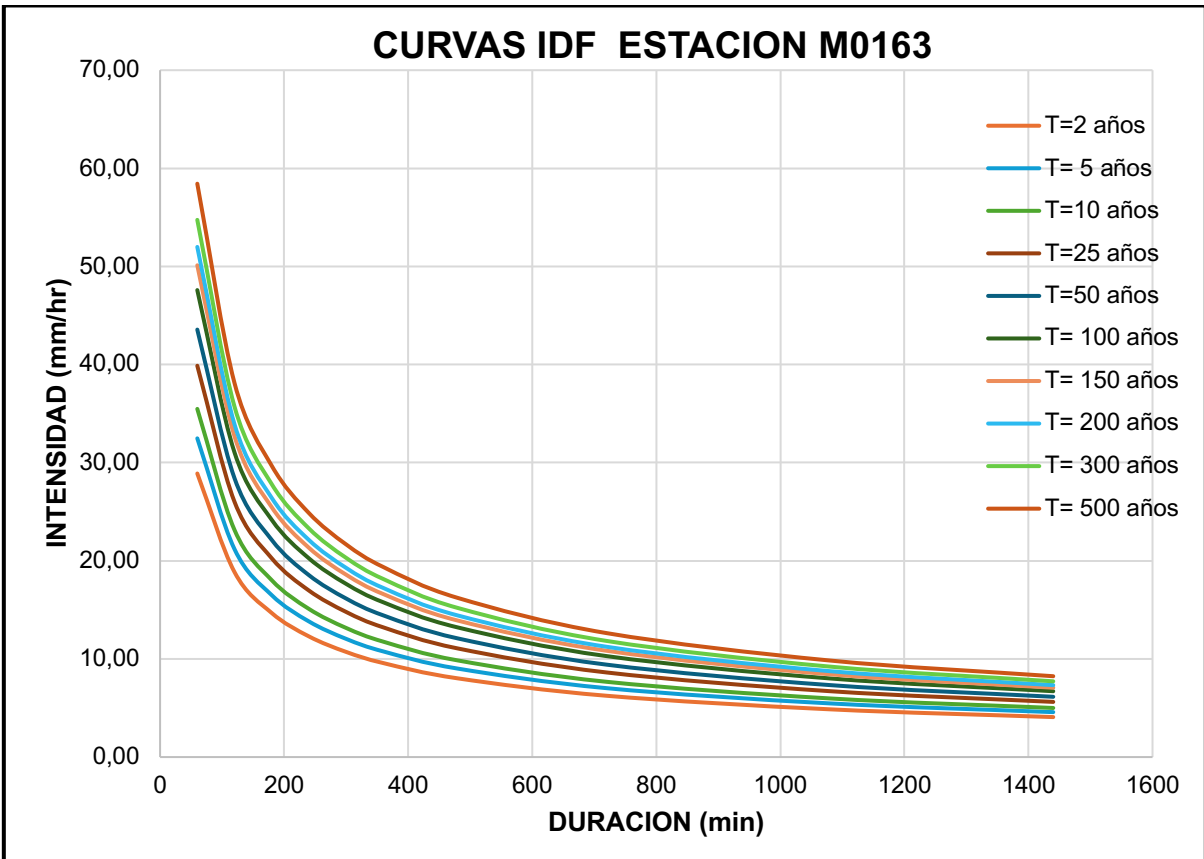
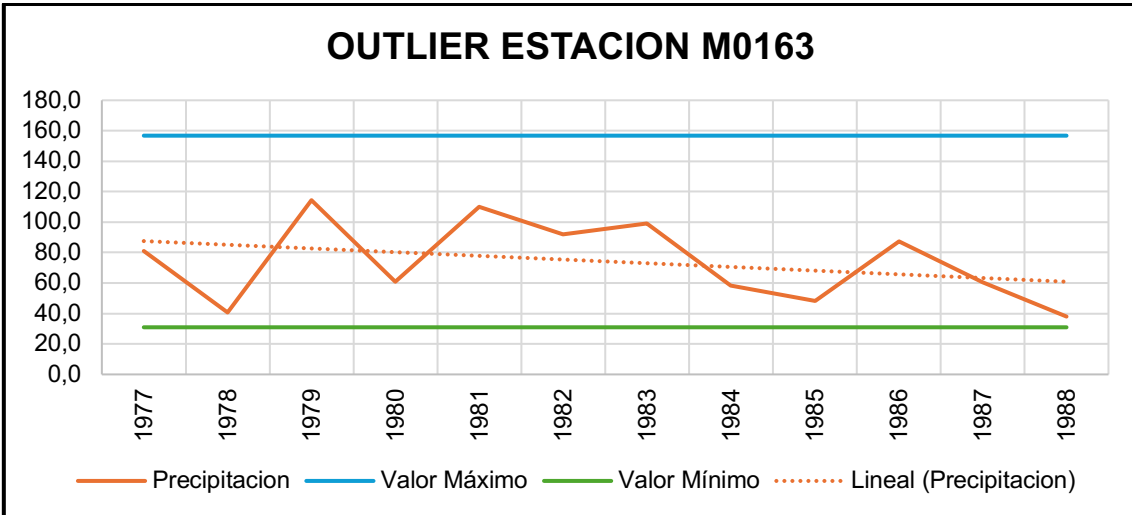


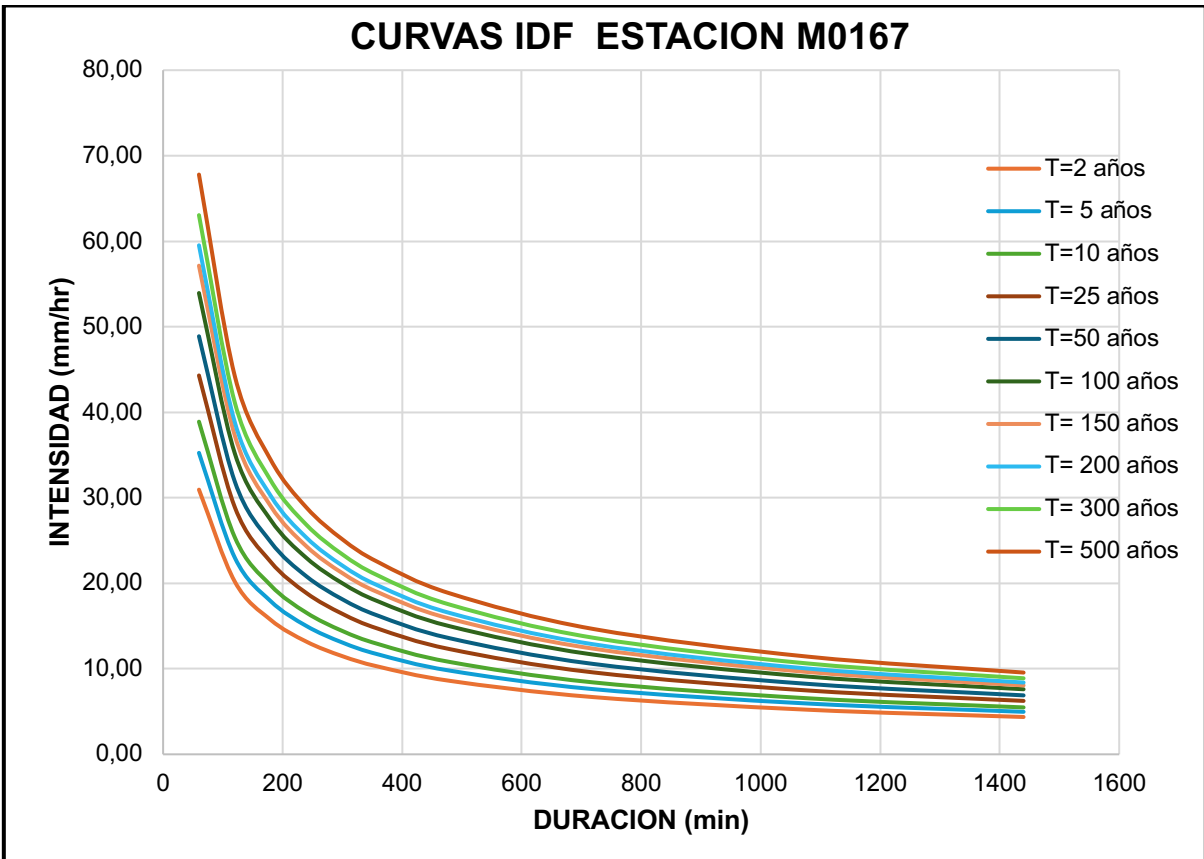
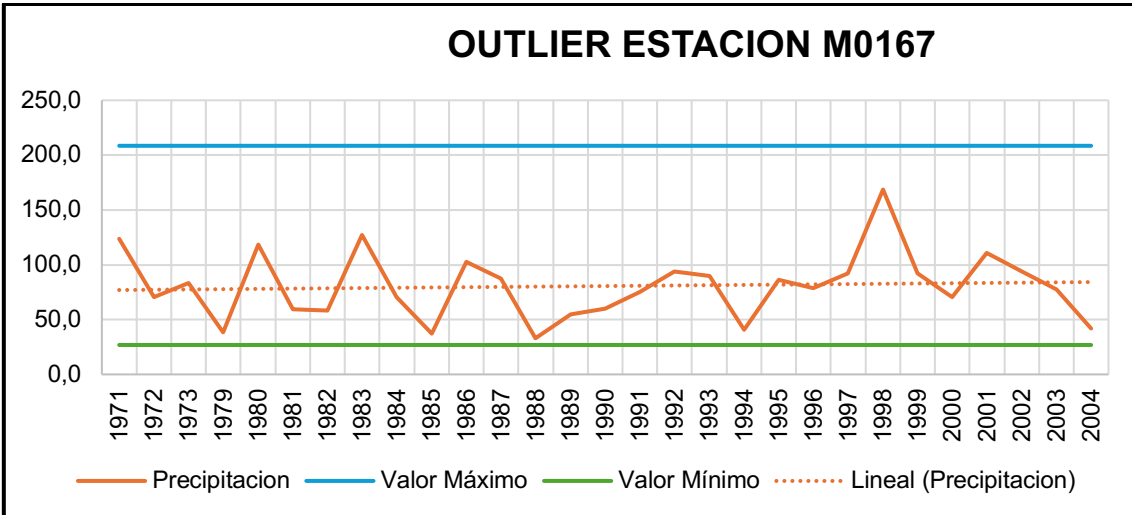
OUTLIER ESTACION M0162

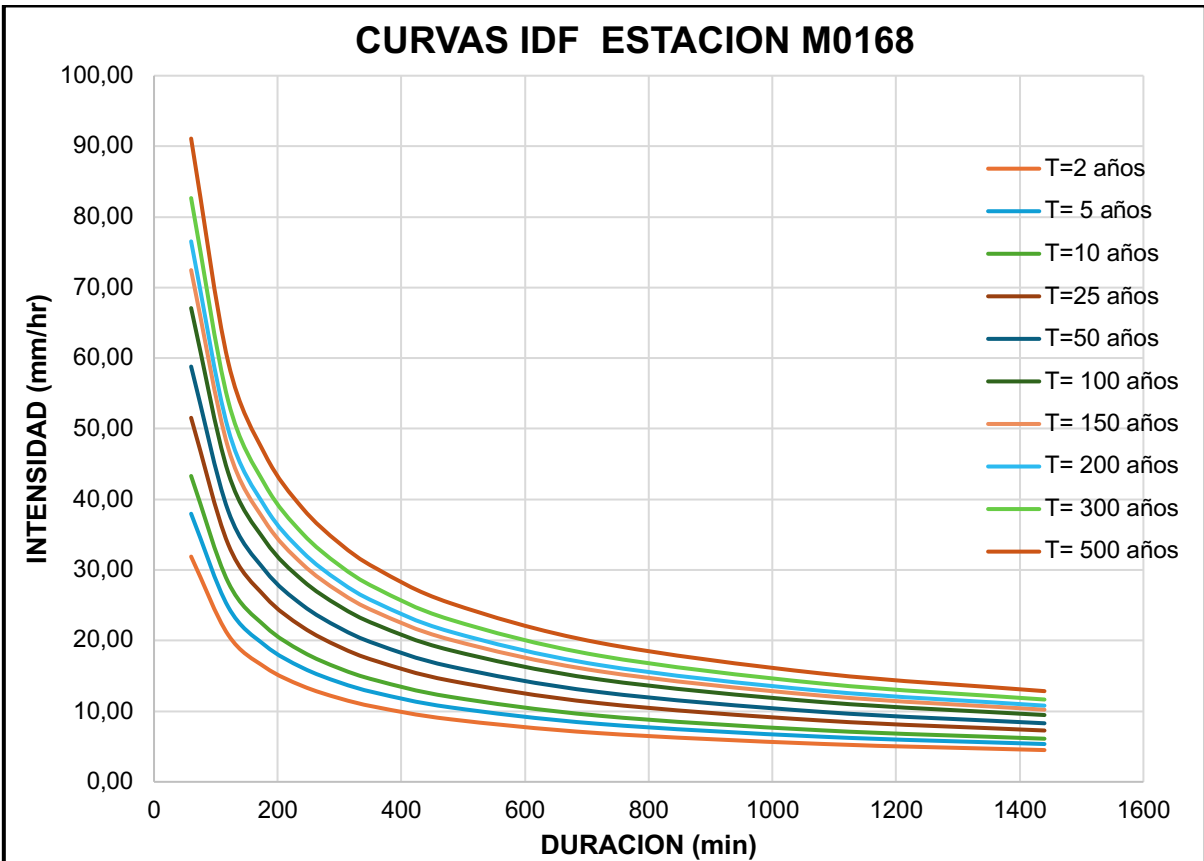
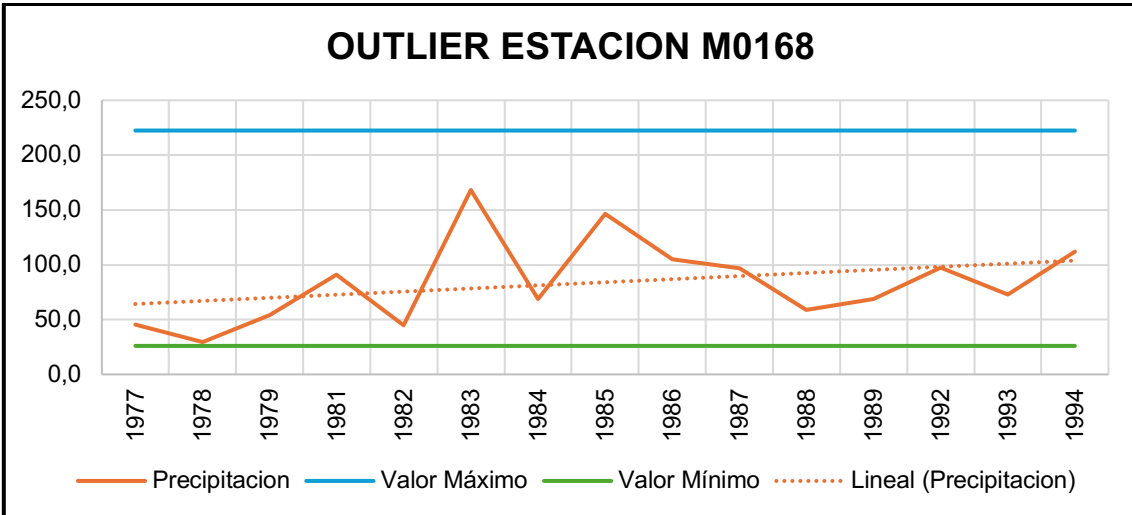


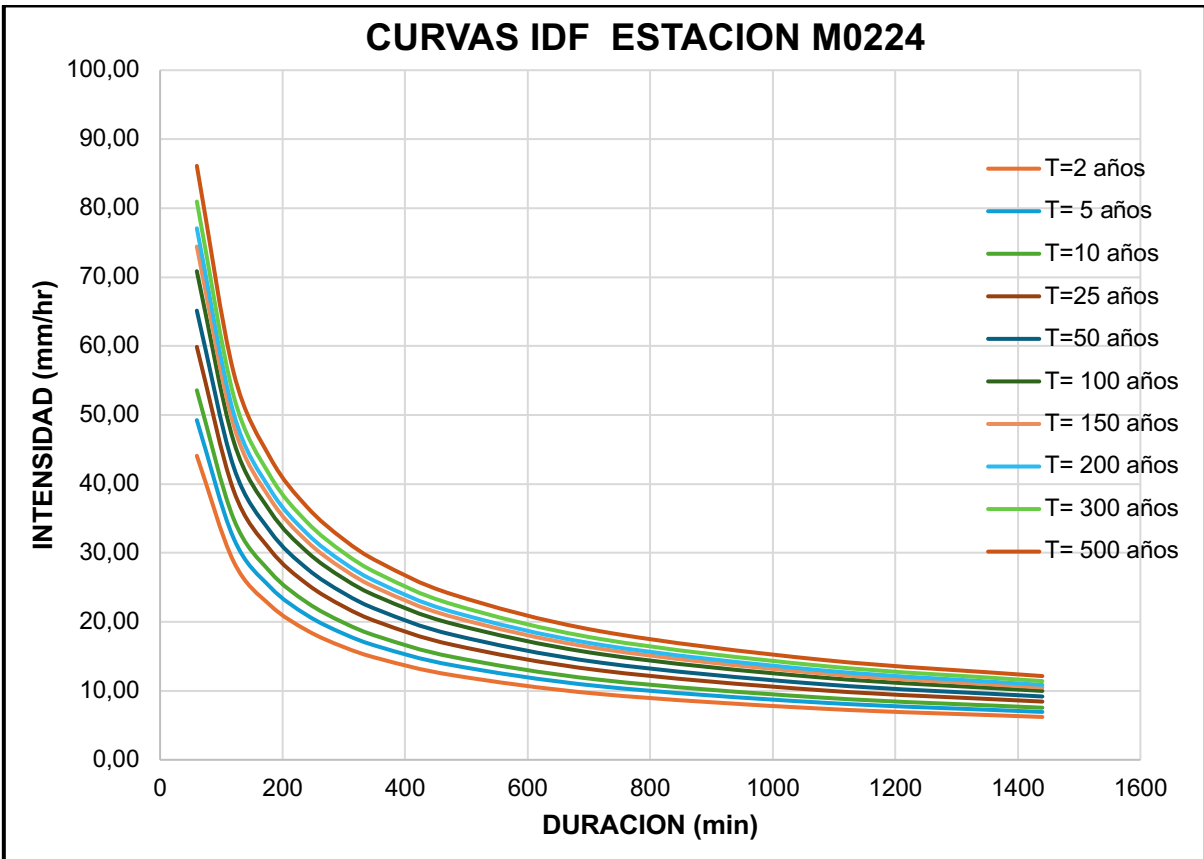
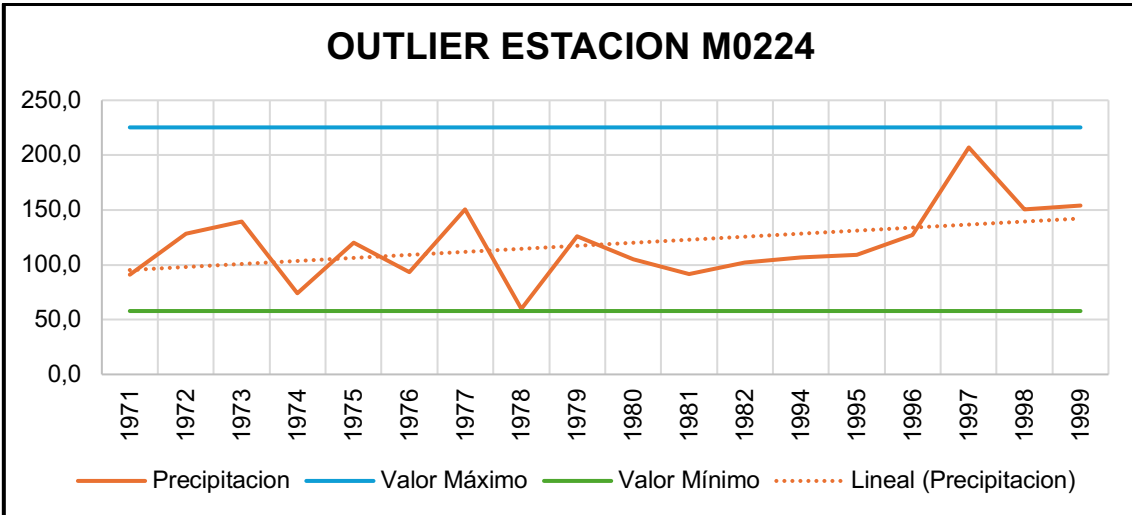
CURVAS IDF ESTACION M0162

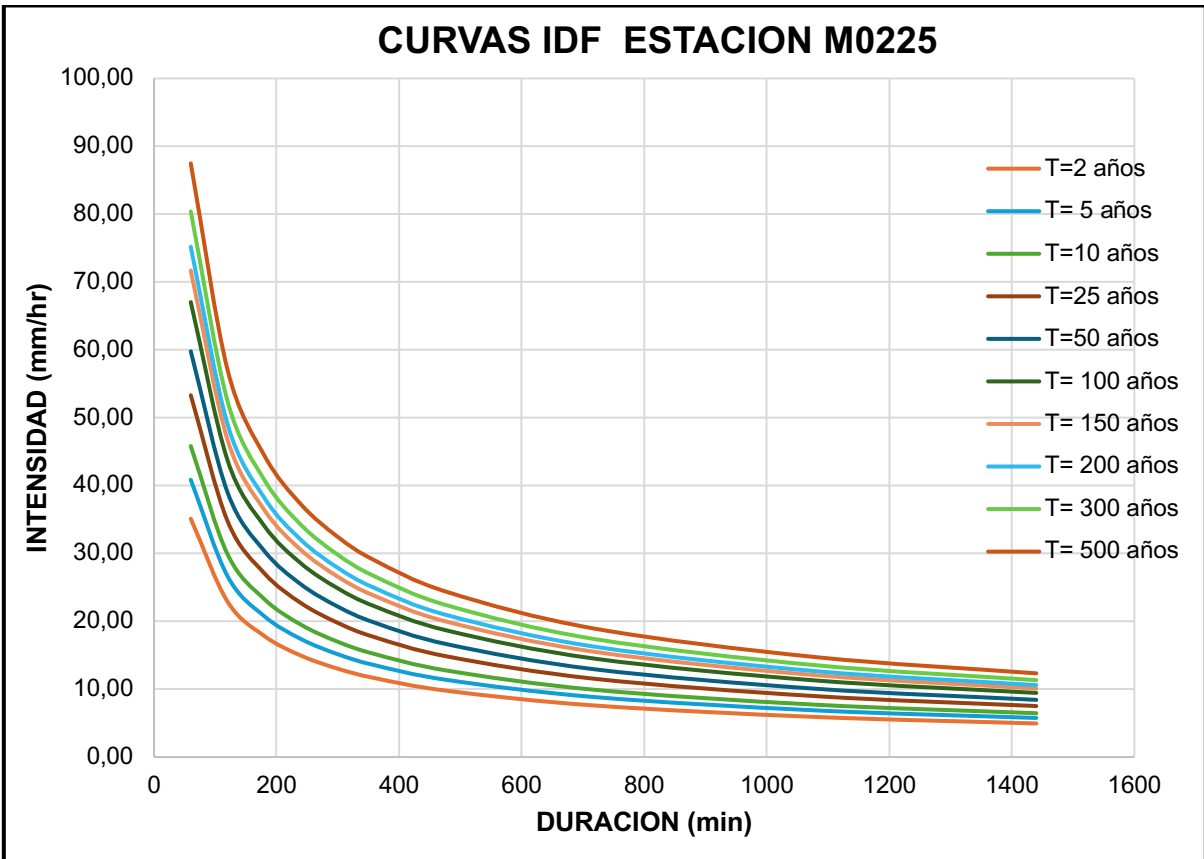
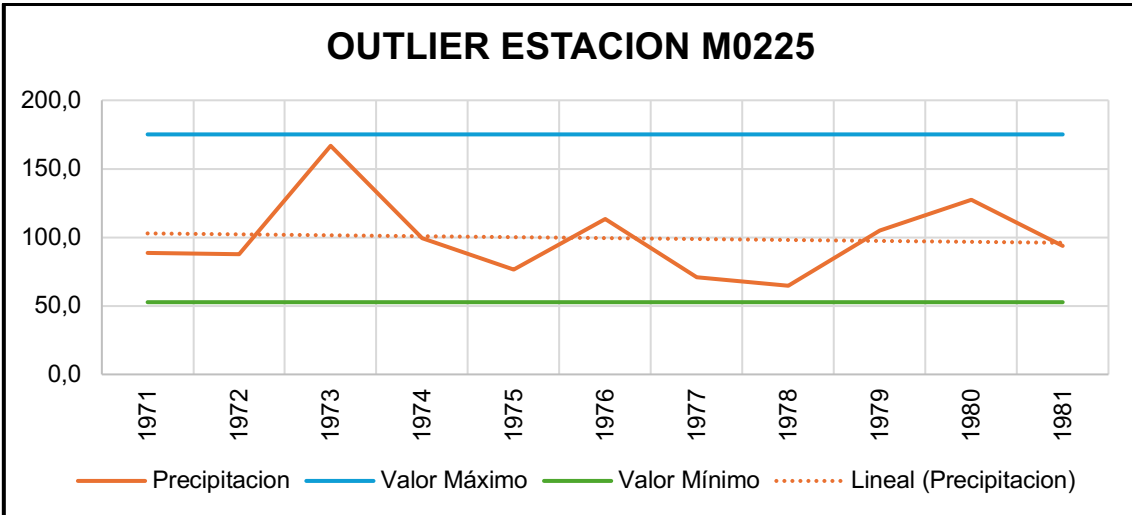




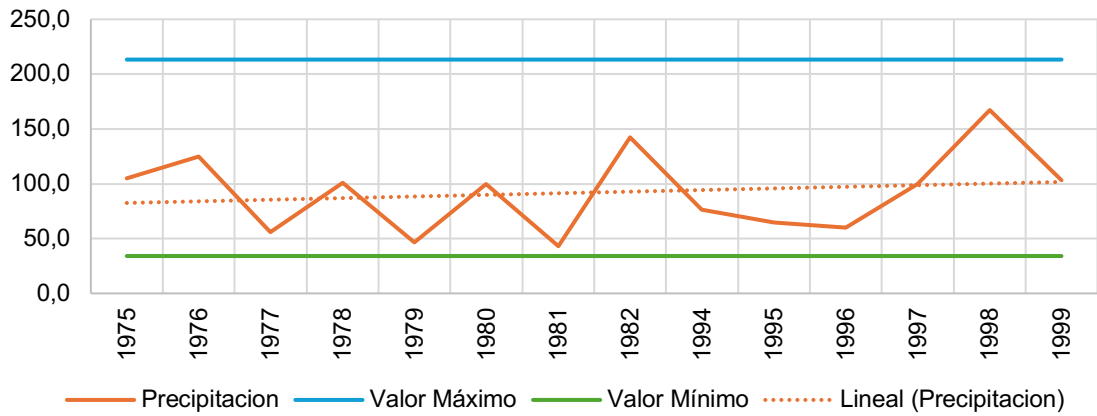




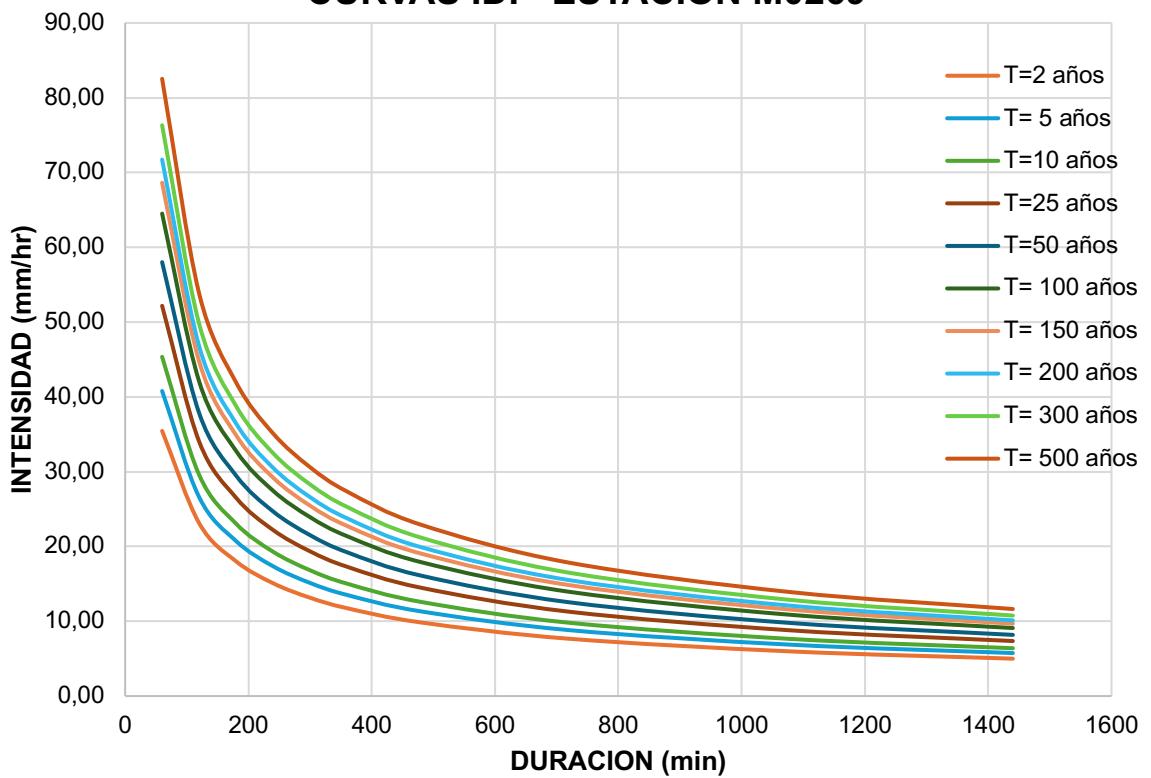


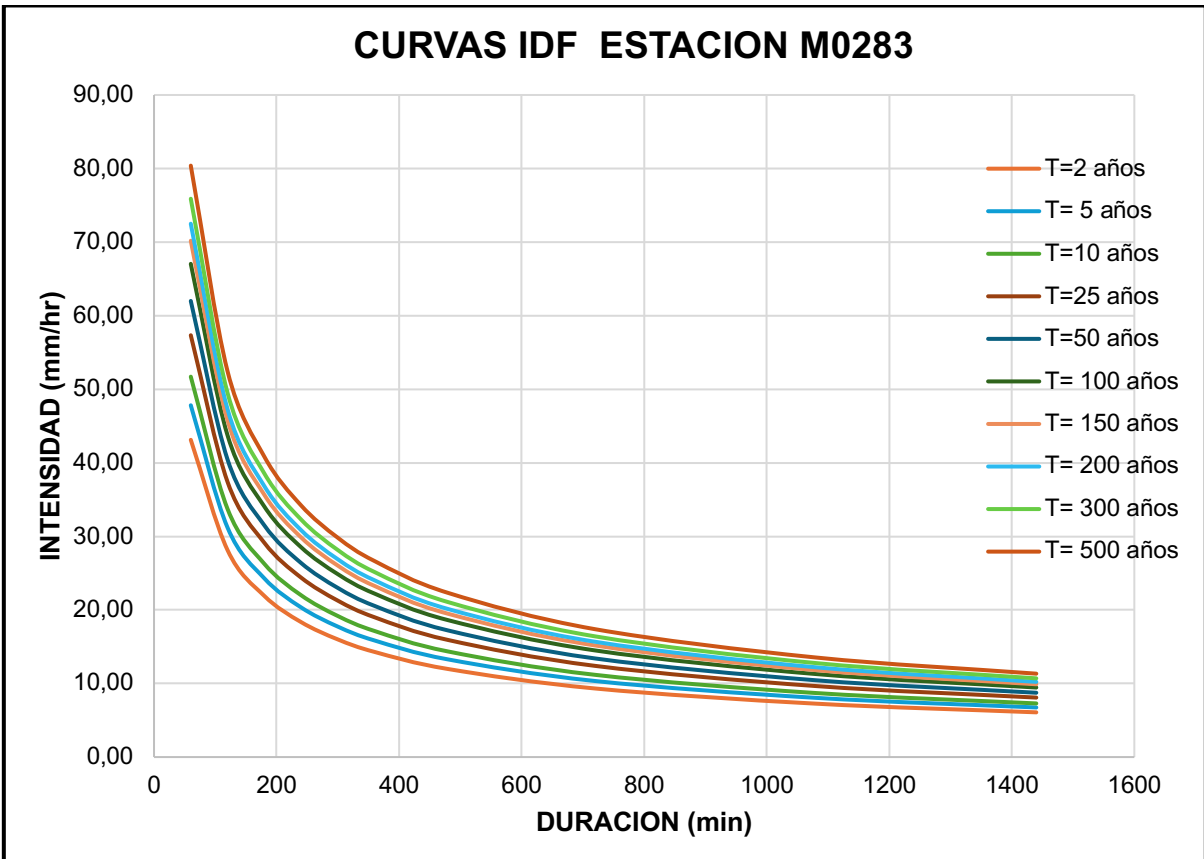
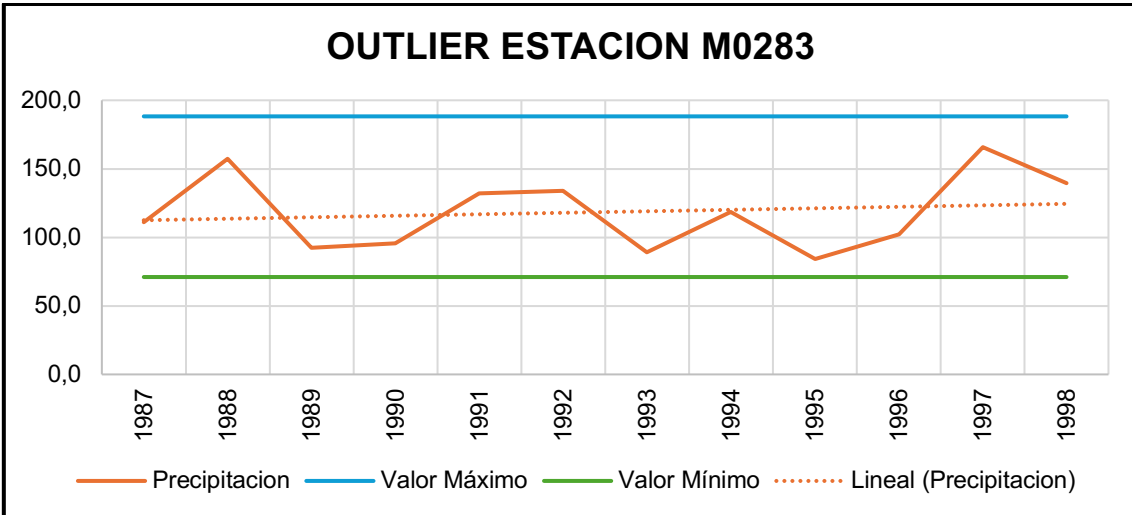


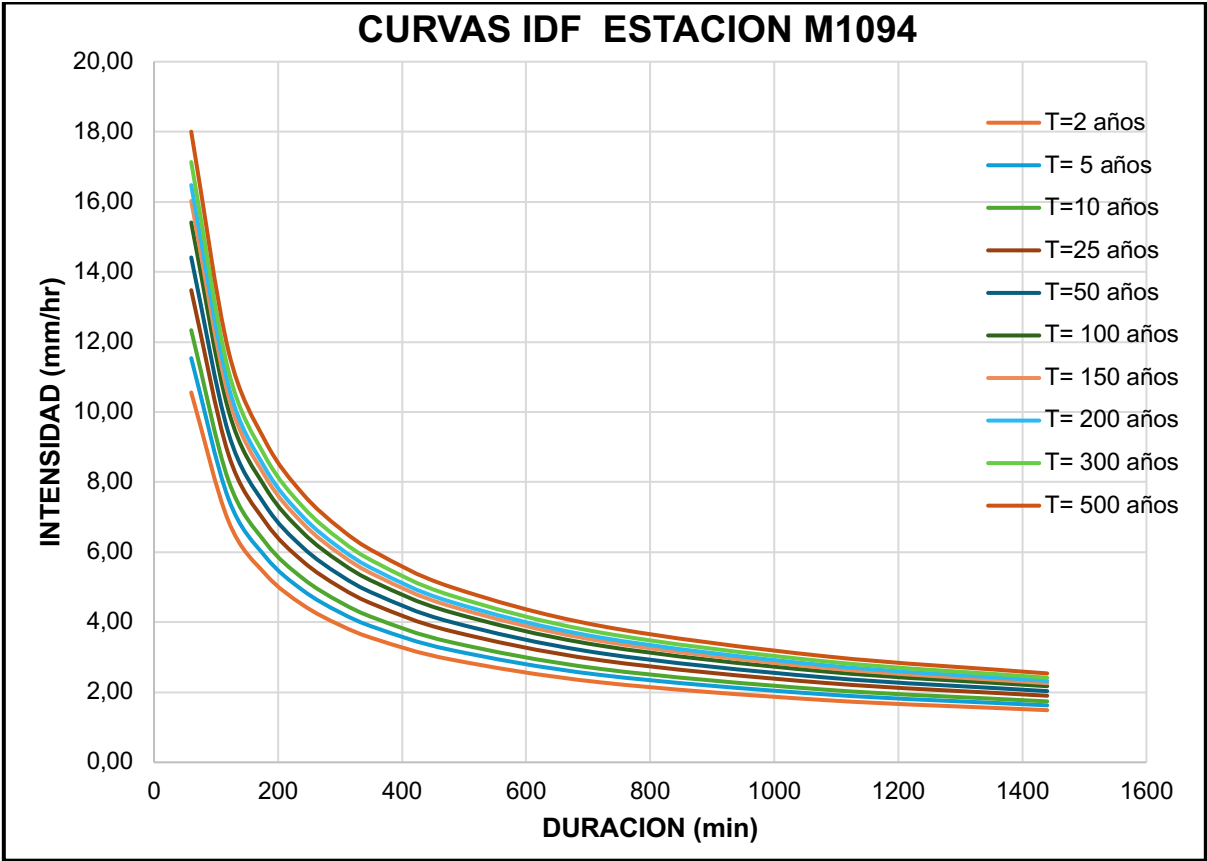
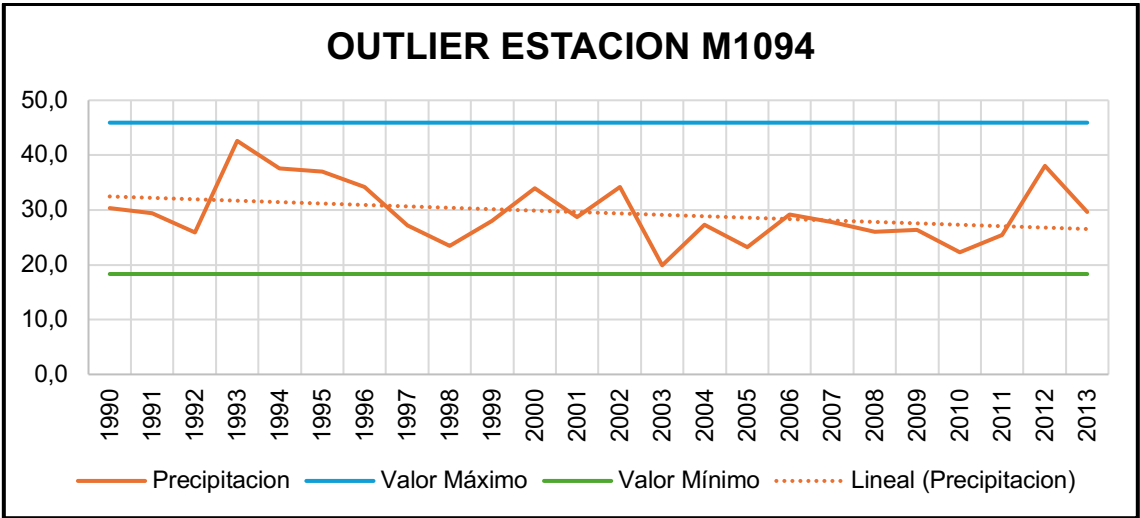
OUTLIER ESTACION M0269



CURVAS IDF ESTACION M0269

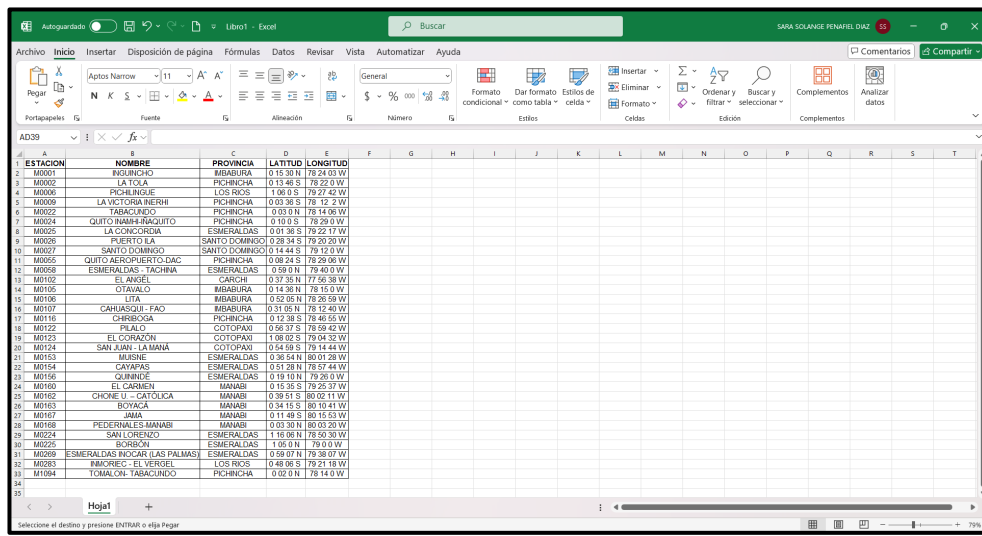






Anexo C: Pasos para Graficar las Coordenadas de las Estaciones Meteorológicas en QGIS.

Paso 1: Tabular la información en Excel desde la primera fila y columna del libro, asegurándose que los campos se llenen correctamente. En los campos de coordenadas de latitud y longitud, deben incluirse únicamente los números, eliminando los signos de grados, minutos y segundos tal como se muestra en la siguiente tabla, posterior a esto el documento será guardado como tipo de archivo "texto (delimitado por tabulaciones)" con el nombre de "Estaciones".

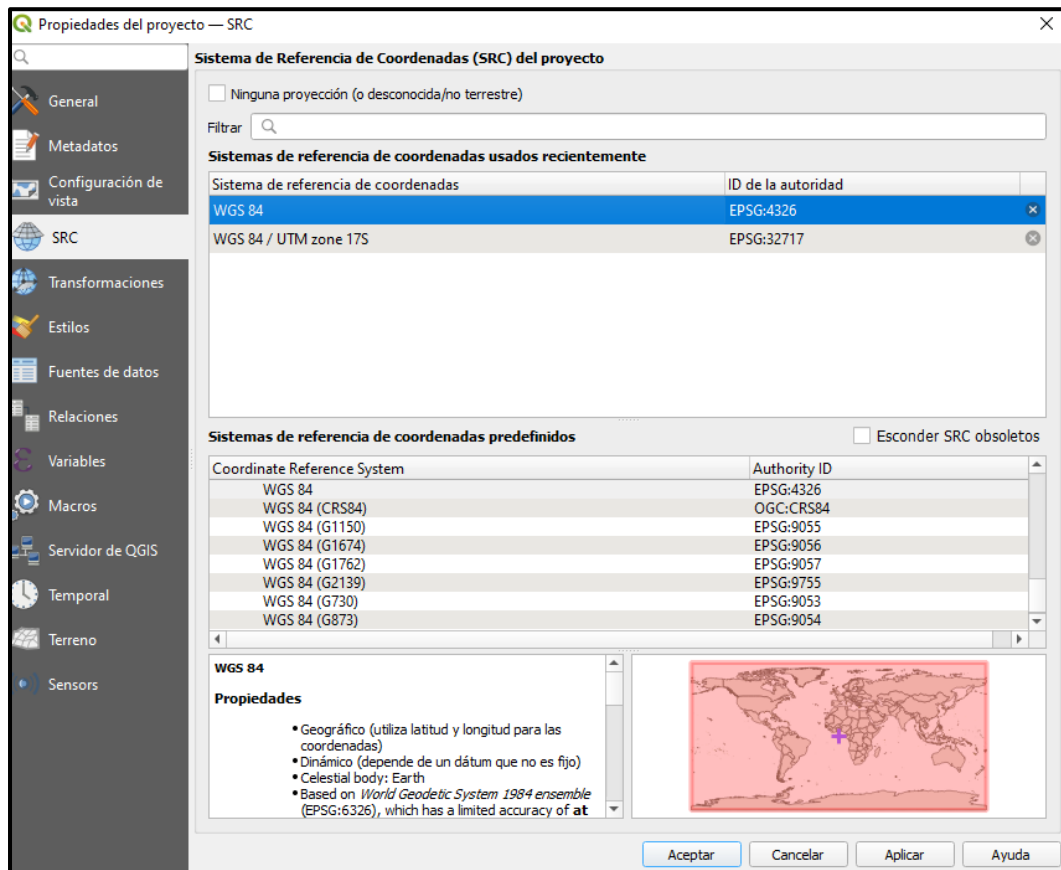


La siguiente tabla se utilizó para subir las coordenadas a Qgis:

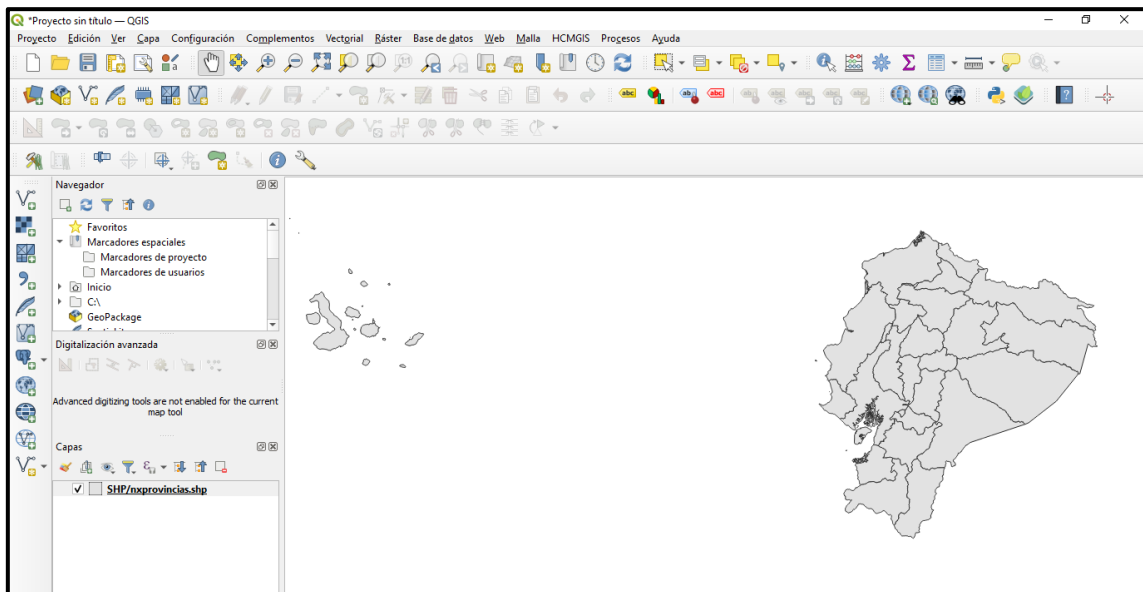
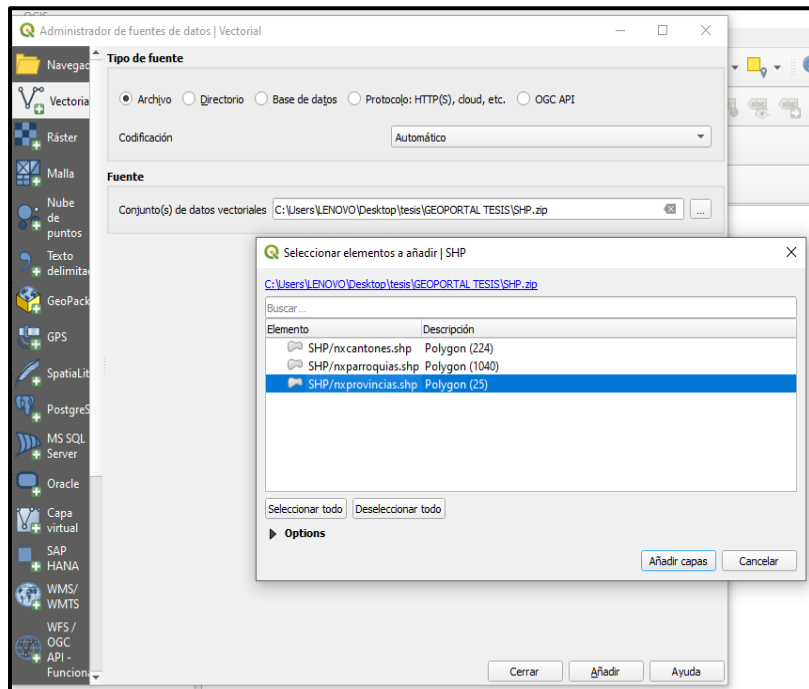
ESTACION	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	PROVINCIA
M0001	INGUINCHO	0 15 30 N	78 24 03 W	IMBABURA
M0002	LA TOLA	0 13 46 S	78 22 0 W	PICHINCHA
M0006	PICHILINGUE	1 06 0 S	79 27 42 W	LOS RIOS
M0009	LA VICTORIA INERHI	0 03 36 S	78 12 2 W	PICHINCHA
M0022	TABACUNDO	0 03 0 N	78 14 06 W	PICHINCHA
M0024	QUITO INAMHI-IAQUITO	0 10 0 S	78 29 0 W	PICHINCHA
M0025	LA CONCORDIA	0 01 36 S	79 22 17 W	ESMERALDAS
M0026	PUERTO ILA	0 28 34 S	79 20 20 W	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS
M0027	SANTO DOMINGO	0 14 44 S	79 12 0 W	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS
M0055	QUITO AEROPUERTO-DAC	0 08 24 S	78 29 06 W	PICHINCHA
M0058	ESMERALDAS-TACHINA	0 59 0 N	79 40 0 W	ESMERALDAS
M0086	SAN VICENTE DE PUSIR	0 29 39 N	78 02 29 W	CARCHI
M0102	EL ANGEL	0 37 35 N	77 56 38 W	CARCHI
M0105	OTAVALO	0 14 36 N	78 15 0 W	IMBABURA
M0106	LITA	0 52 05 N	78 26 59 W	IMBABURA

M0107	CAHUASQUI - FAO	0 31 05 N	78 12 40 W	IMBABURA
M0116	CHIRIBOGA	0 12 38 S	78 46 55 W	PICHINCHA
M0122	PILALO	0 56 37 S	78 59 42 W	COTOPAXI
M0123	EL CORAZÓN	1 08 02 S	79 04 32 W	COTOPAXI
M0124	SAN JUAN - LA MANA	0 54 59 S	79 14 44 W	COTOPAXI
M0153	MUISNE	0 36 54 N	80 01 28 W	ESMERALDAS
M0154	CAYAPAS	0 51 28 N	78 57 44 W	ESMERALDAS
M0156	QUININDE	0 19 10 N	79 26 0 W	ESMERALDAS
M0158	MUTILDE	0 53 0 N	79 37 03 W	ESMERALDAS
M0160	EL CARMEN	0 15 35 S	79 25 37 W	MANABI
M0162	CHONE U. CATOLICA	0 39 51 S	80 02 11 W	MANABI
M0163	BOYACA	0 34 15 S	80 10 41 W	MANABI
M0167	JAMA	0 11 49 S	80 15 53 W	MANABI
M0168	PEDERNALES-MANABI	0 03 30 N	80 03 20 W	MANABI
M0224	SAN LORENZO	1 16 06 N	78 50 30 W	ESMERALDAS
M0225	BORBÓN	1 05 0 N	79 0 0 W	ESMERALDAS
M0269	ESMERALDAS INOCAR (LAS PALMAS)	0 59 07 N	79 38 07 W	ESMERALDAS
M0283	INMORIEC - EL VERGEL	0 48 06 S	79 21 18 W	LOS RIOS
M0362	LAS PAMPAS	0 25 32 S	78 57 54 W	COTOPAXI
M0623	PALMERAS UNIDAS (PALMAR)	0 15 53 S	79 35 48 W	MANABI
M1094	TOMALON- TABACUNDO	0 02 0 N	78 14 0 W	PICHINCHA
M1240	IBARRA - INAMHI	0 20 2 N	78 8 23 W	IMBABURA
M1248	EL CRISTAL	0 50 05 N	78 28 54 W	ESMERALDAS
M1249	PALESEMA	1 18 21 N	78 43 54 W	ESMERALDAS
Null	ESMERALDA LA PROPICIA	0 55 0 N	79 40 0 W	ESMERALDAS

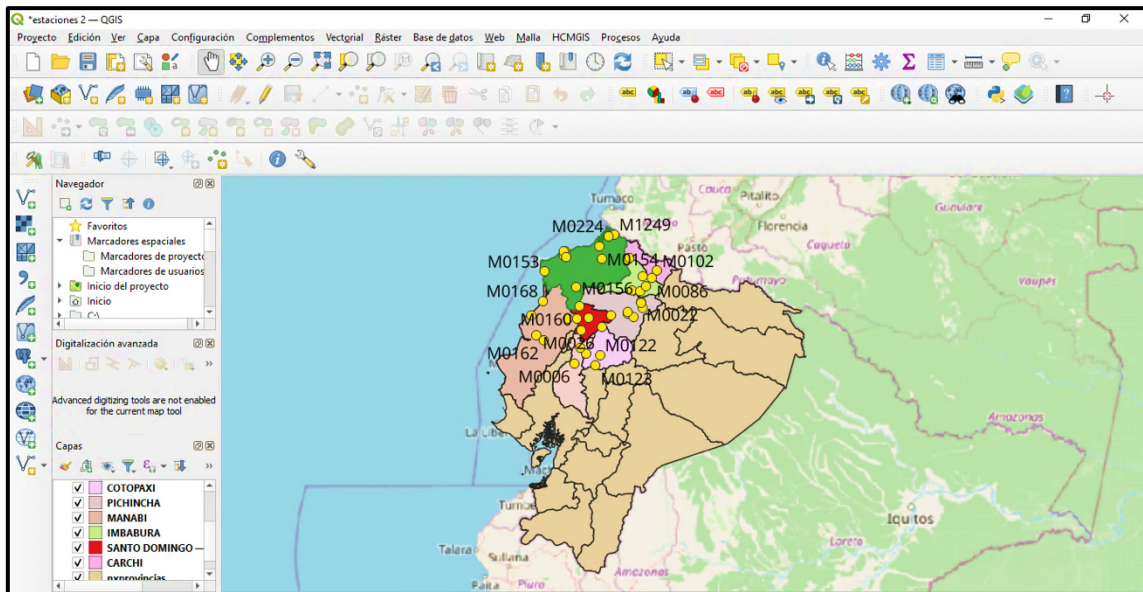
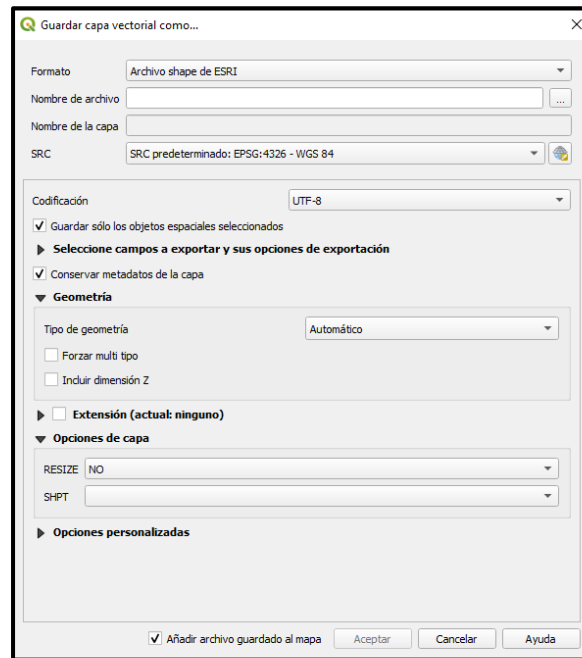
Paso 2: Abrir el programa QGIS y creamos un nuevo proyecto. Antes de importar los datos, configurar el sistema de coordenadas con el que se trabaja. Para ello, hacer clic en **Proyecto >> Propiedades >> SRC** y seleccionar WGS 84 EPSG:4326 como se observa en la ilustración. Este sistema de coordenadas es estándar global que utiliza coordenadas geográficas sin convertirlas a UTM.



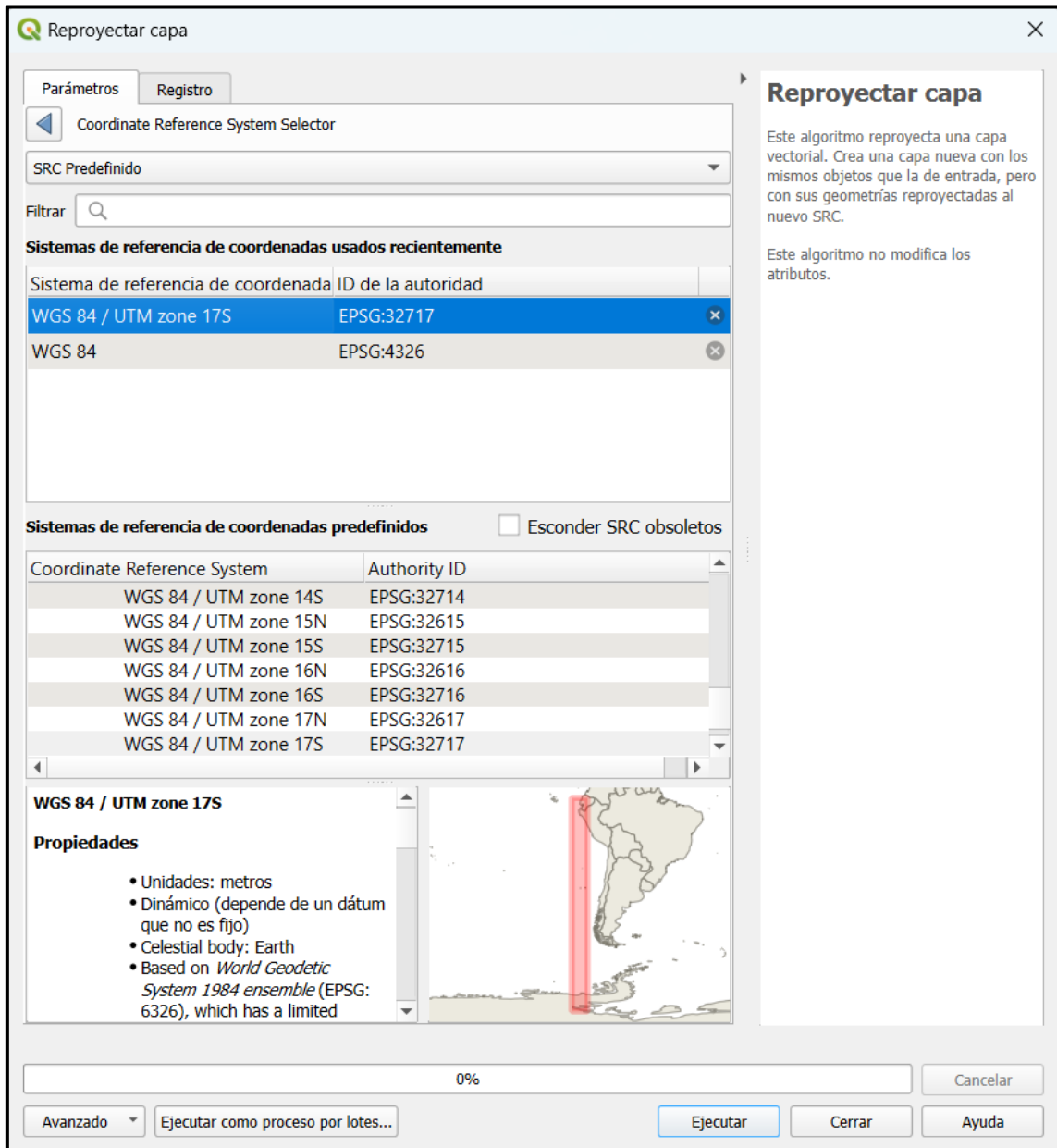
Paso 3: Antes de importar los datos, se grafica el mapa del Ecuador, el cual fue descargado del geo portal del INEC (Instituto Nacional de estadísticas y censos). Este nos proporciona un archivo SHP con el mapa del Ecuador dibujadas sus provincias. Para ingresarla nos direccionamos a **capa>>añadir capa>>añadir capa vectorial**. Y añadimos la carpeta donde se encuentra nuestro archivo SHP con el nombre "SHP/nxprovincias.shp" como se muestra en la siguiente ilustración.



Paso 4: Importar las coordenadas de las estaciones damos clic en **capa>>añadir capa>>añadir capa de texto delimitado**. Aparece un cuadro de dialogo el cual debe ser llenado tal cual como la ilustración, aquí subiremos el documento realizado en Excel con el nombre "Estaciones".



Paso 6: Cambiar de coordenadas geográficas a UTM, selecciona la capa en el panel de capas. **Abrir la caja de herramientas de proceso>>clic en Reproyectar capa.** Y cambiar el sistema de coordenadas de WGS 84 EPSG:4326 a WGS 84 / UTM Zone 17 S EPSG:32717 que pertenece para Ecuador, específicamente la parte occidental, como se especifica en la ilustración 23.



Paso 7: Dar clic en ejecutar, y cerrar el cuadro de dialogo, luego dar clic derecho en la capa que se creado denominada **Reproyectada**>>**abrir tabla de atributos**>>**abrir calculadora de campos**.

Reproyectada— Objetos Totales: 30, Filtrados: 30, Seleccionados: 0



ESTACION	NOMBRE	PROVINCIA	LATITUD	LONGITUD	k
M0002	LA TOLA	PICHINCHA	0 13 46 S	78 22 0 W	186,8599
M0006	PICHILINGUE	LOS RIOS	1 06 0 S	79 27 42 W	487,6006
M0009	LA VICTORIA IN...	PICHINCHA	0 03 36 S	78 12 2 W	136,496
M0024	QUITO INAMHI...	PICHINCHA	0 10 0 S	78 29 0 W	188,0633
M0025	LA CONCORDIA	ESMERALDAS	0 01 36 S	79 22 17 W	572,9967
M0026	PUERTO ILA	SANTO DOMIN...	0 28 34 S	79 20 20 W	500,2195
M0027	SANTO DOMIN...	SANTO DOMIN...	0 14 44 S	79 12 0 W	522,2398
M0055	QUITO AEROPU...	PICHINCHA	0 08 24 S	78 29 06 W	170,9463

Crear campos de salida Norte y Este como se muestra en la ilustración

Reproyectada — Field Calculator

Only update 0 selected feature(s)

Crear un campo nuevo Actualizar campo existente

Crear campo virtual

Nombre del campo de salida: ESTE

Tipo del campo de salida: 1.2 Número decimal (decimal)

Longitud del campo de salida: 10 Precisión: 3

Expresión Editor de funciones

función \$x

Returns the x coordinate of the current point feature. If the feature is a multipoint feature, then the x-coordinate of the first point will be returned. **WARNING: This function is deprecated. It is recommended to use the replacement x() function with @geometry variable instead.**

Sintaxis

\$x

Ejemplos

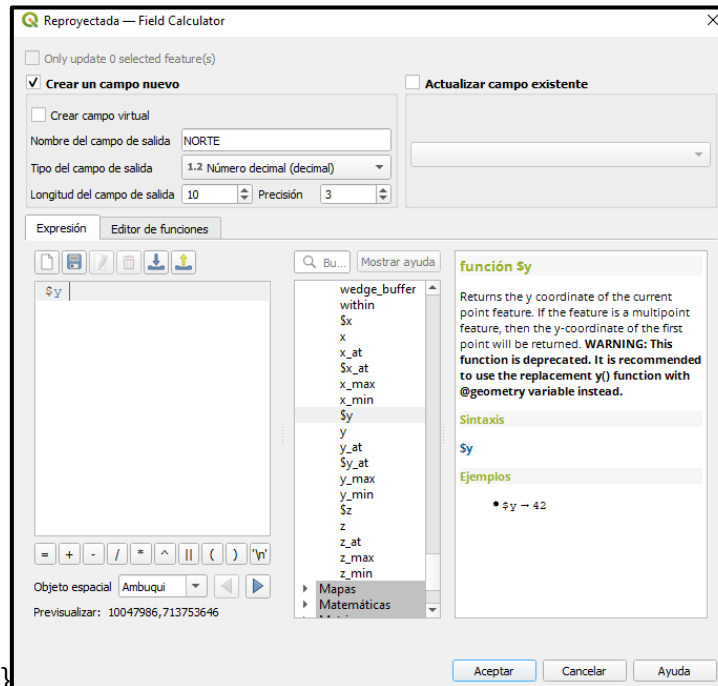
- \$x - 42

Objeto espacial: Ambuqui

Previsualizar:

Está editando información de esta capa, pero la capa no está actualmente en modo edición. Si pulsa Aceptar se activará automáticamente el modo de edición.

Aceptar Cancelar Ayuda

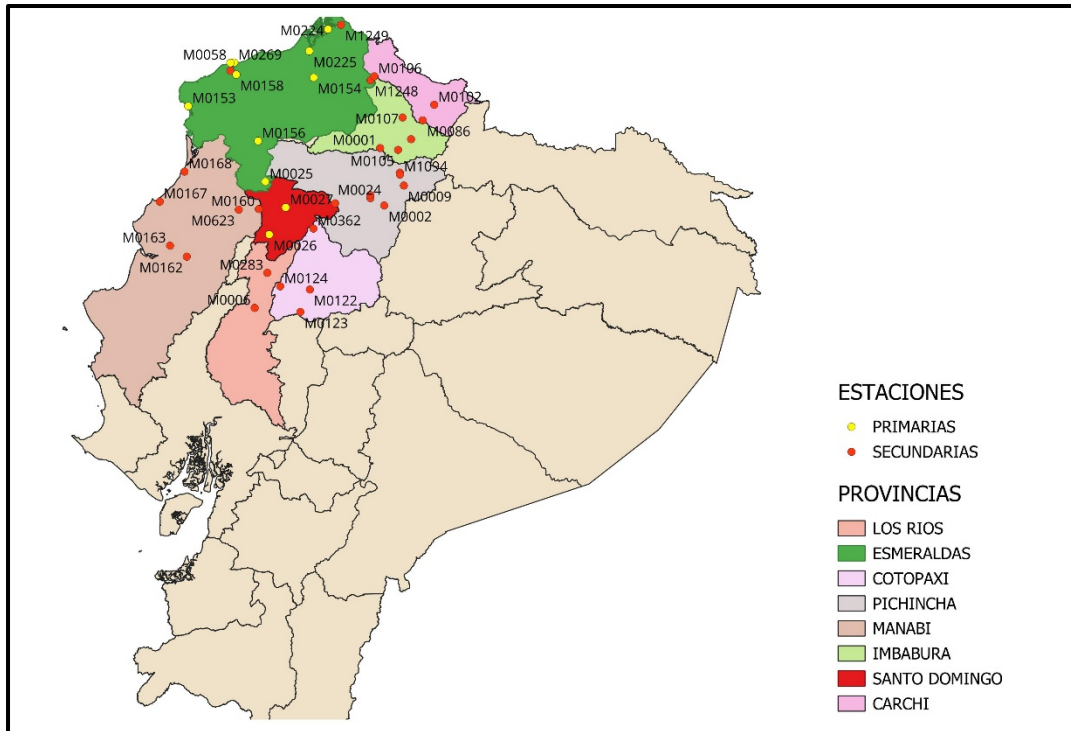


REPROYECTADA— Objetos Totales: 40, Filtrados: 40, Seleccionados: 0

	ESTACION	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	PROVINCIA	ESTE	NORTE
1	NULL	ESMERALDA LA...	0 55 0 N	79 40 0 W	ESMERALDAS	648361,2312	10101346,9100
2	M0001	INGUINCHO	0 15 30 N	78 24 03 W	IMBABURA	789319,1681	10028583,2000
3	M0002	LA TOLA	0 13 46 S	78 22 0 W	PICHINCHA	793125,6437	9974612,5040
4	M0006	PICHILINGUE	1 06 0 S	79 27 42 W	LOS RIOS	671167,3393	9878372,6780
5	M0009	LA VICTORIA IN...	0 03 36 S	78 12 2 W	PICHINCHA	811632,7591	9993360,2190
6	M0022	TABACUNDO	0 03 0 N	78 14 06 W	PICHINCHA	807795,4544	10005532,9800
7	M0024	QUITO INAMHL...	0 10 0 S	78 29 0 W	PICHINCHA	780131,5114	9981560,4200
8	M0025	LA CONCORDIA	0 01 36 S	79 22 17 W	ESMERALDAS	681248,1947	9997051,3330
9	M0026	PUERTO ILA	0 28 34 S	79 20 20 W	SANTO DOMIN...	684859,8079	9947353,1320
10	M0027	SANTO DOMIN...	0 14 44 S	79 12 0 W	PICHINCHA	700326,2822	9972845,2420
11	M0055	QUITO AEROPU...	0 08 24 S	78 29 06 W	PICHINCHA	779946,2206	9984510,7730
12	M0058	ESMERALDAS-T...	0 59 0 N	79 40 0 W	ESMERALDAS	648358,3869	10108717,6100
13	M0086	SAN VICENTE D...	0 29 39 N	78 02 29 W	CARCHI	829354,5439	10054693,6600
14	M0102	EL ANGL	0 37 35 N	77 56 38 W	CARCHI	840210,8729	10069334,0800
15	M0105	OTAVALO	0 14 36 N	78 15 0 W	IMBABURA	806121,7520	10026926,8600
16	M0106	LITA	0 52 05 N	78 26 59 W	IMBABURA	783844,0448	10096042,0400
17	M0107	CAHUASQUI - F...	0 31 05 N	78 12 40 W	IMBABURA	810444,3269	10057329,0700
18	M0116	CHIRIBOGA	0 12 38 S	78 46 55 W	PICHINCHA	746874,4793	9976709,7160
19	M0122	PILALO	0 56 37 S	78 59 42 W	COTOPAXI	723122,0721	9895638,2140
20	M0123	EL CORAZ	1 08 02 S	79 04 32 W	COTOPAXI	714141,3394	9874599,8580
21	M0124	SAN JUAN - LA ...	0 54 59 S	79 14 44 W	COTOPAXI	695231,6398	9898663,5900

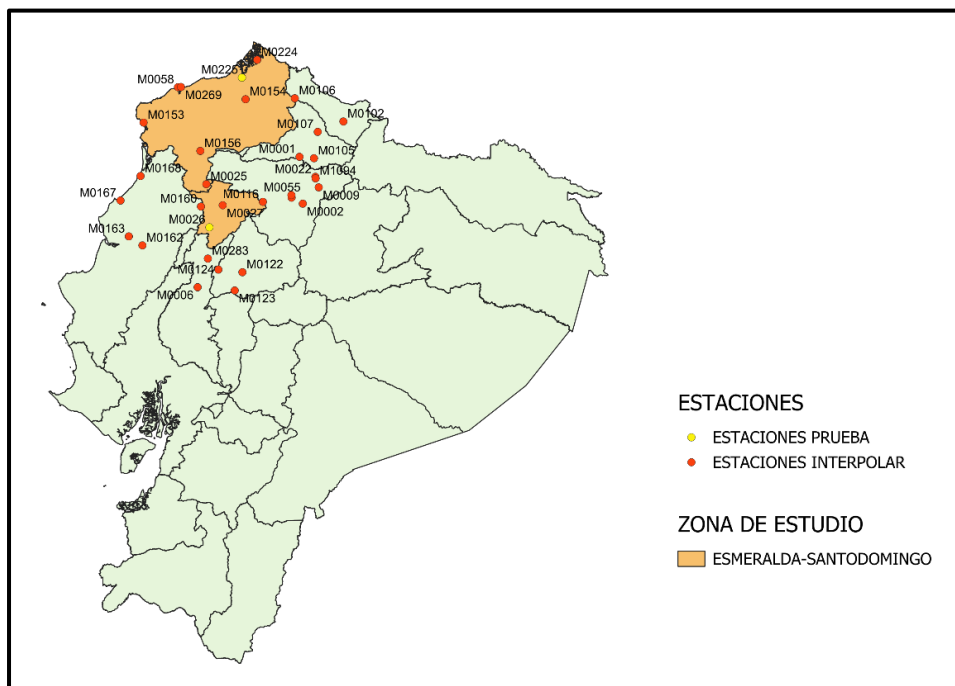
Mostrar todos los objetos espaciales

Por último, la distribución de las estaciones se presenta en la ilustración.



Anexo D: Pasos para una buena regionalización en QGIS.

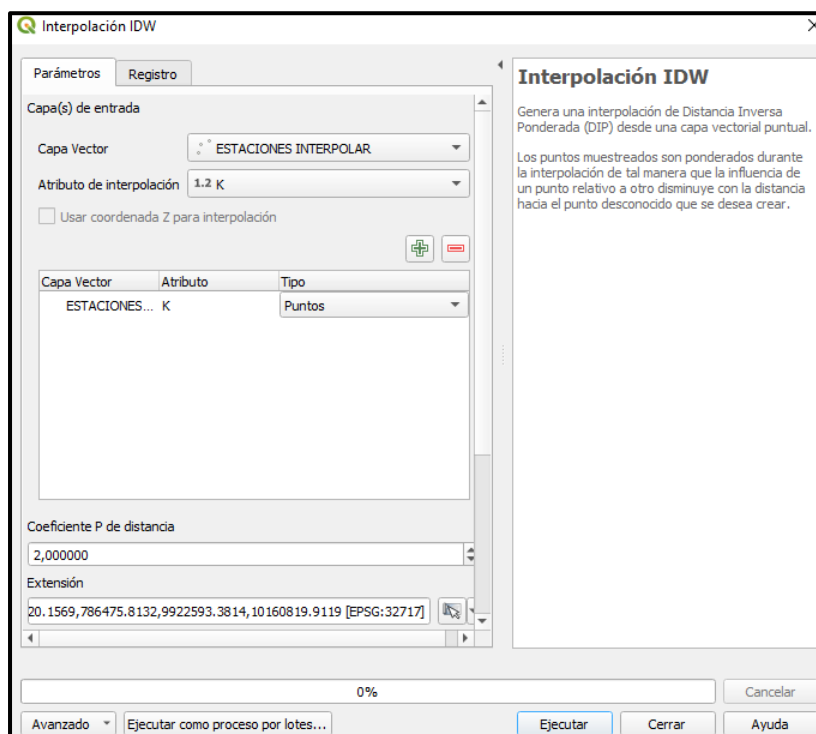
Para la regionalización, se aplicaron dos métodos: Distancia Inversa Ponderada (IDW) y Kriging Ordinary. Se seleccionaron dos estaciones de prueba, como se muestra en la ilustración 161, para después comparar los datos obtenidos en la interpolación.

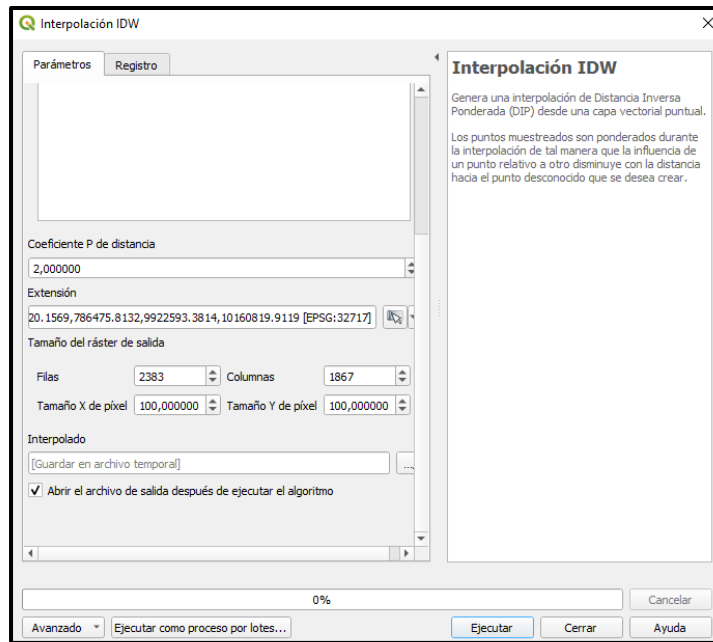


Método de interpolación IDW en QGIS

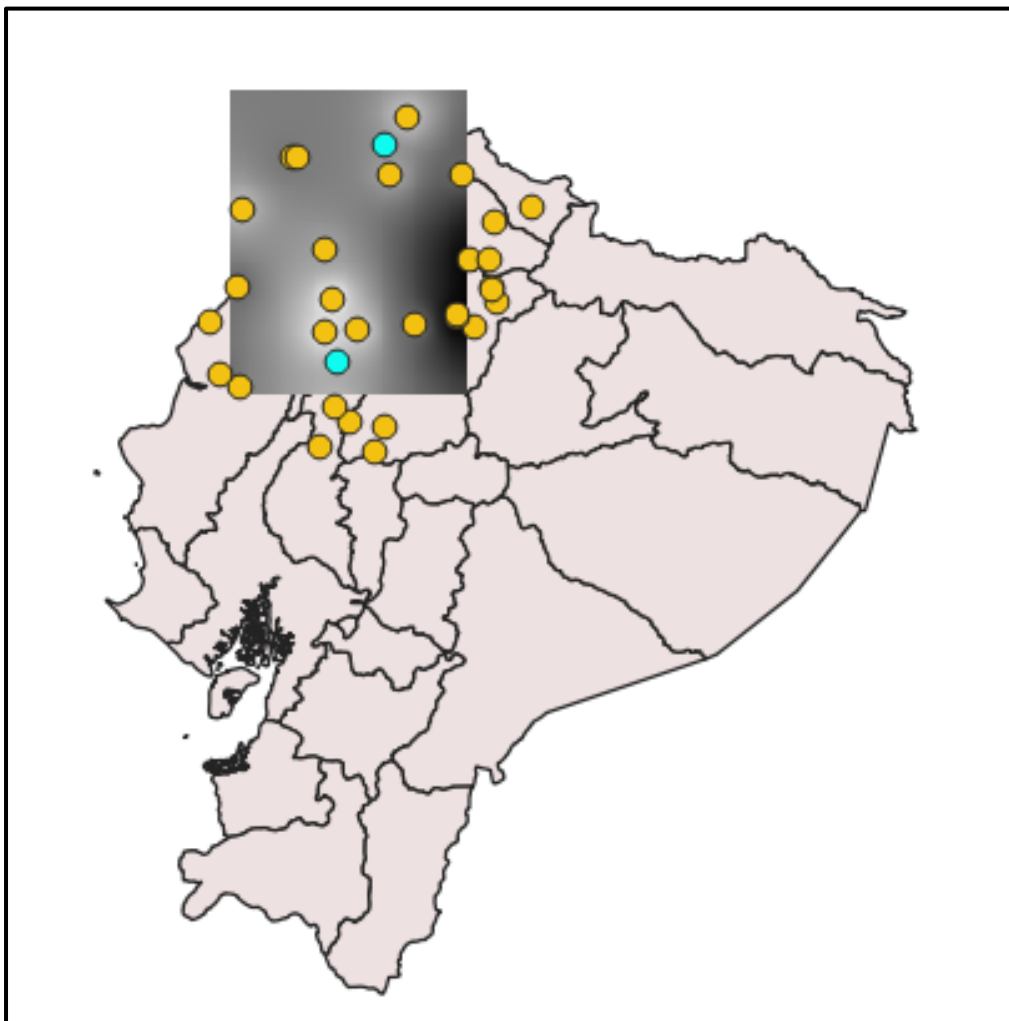
Paso 1: Ingresar los datos de las estaciones; seguimos el mismo procedimiento que se explica en el Anexo C, una vez ingresados los datos, dar clic derecho en la barra de herramientas>>habilitar panel caja de herramientas de procesos >>Interpolación>>Interpolación IDW, aparece la ventana para ingresar los parámetros del método, como se muestra en la ilustración 162 y 163 se selecciona únicamente las estaciones a interpolar, dejando fuera las estaciones prueba, ya que estas se utiliza para comprobar el margen de error. Seguido esto, dar clic en ejecutar.

Es crucial tener presente que se debe realizar la interpolación para cada parámetro (k, m, n) obtenido en las curvas IDF.

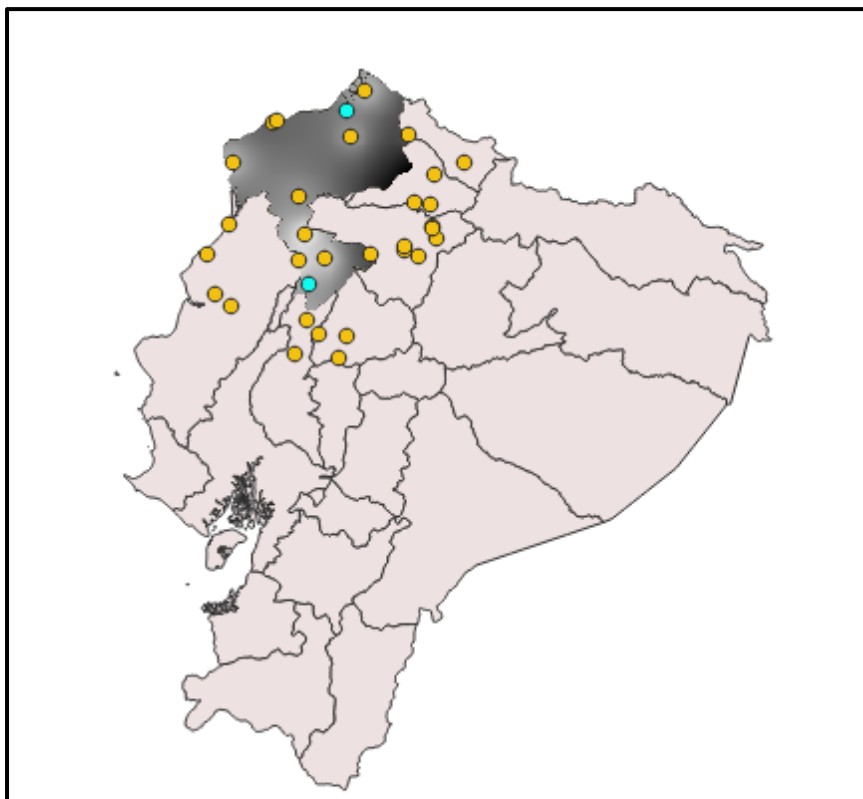
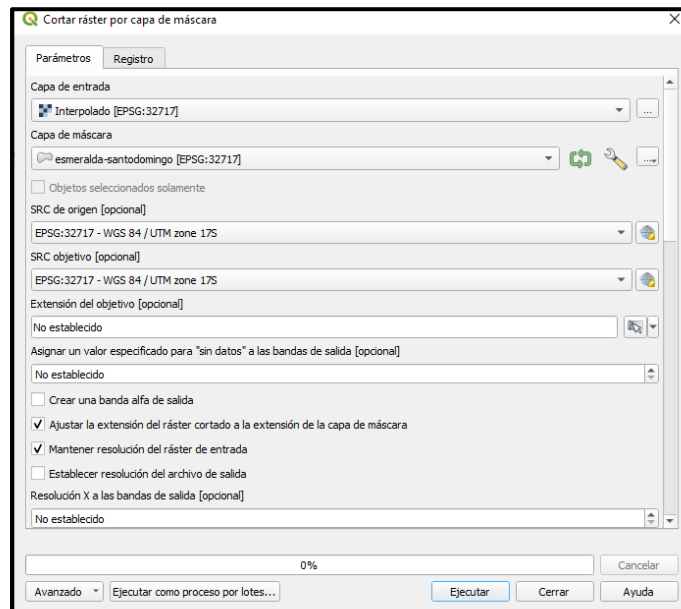




A continuación, aparece la zona en la que se llevó a cabo la interpolación.




Paso 2: Se procede a recortar la capa de interpolación correspondiente a la zona de estudio, para ello; dar clic en **Ráster>>extracción>>cortar ráster por capa de mascara**. Esto abrirá una ventana donde se completarán los campos, como se muestra en la ilustración 165, finalmente dar clic en ejecutar.

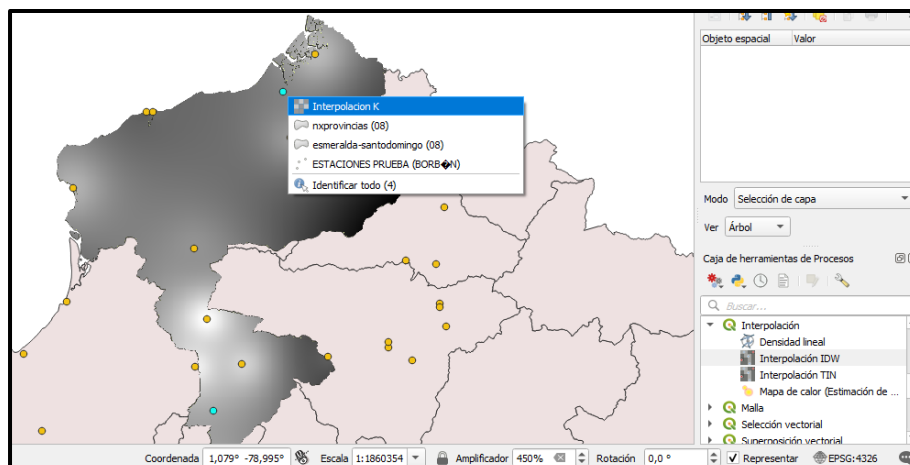


Verificación de margen de error

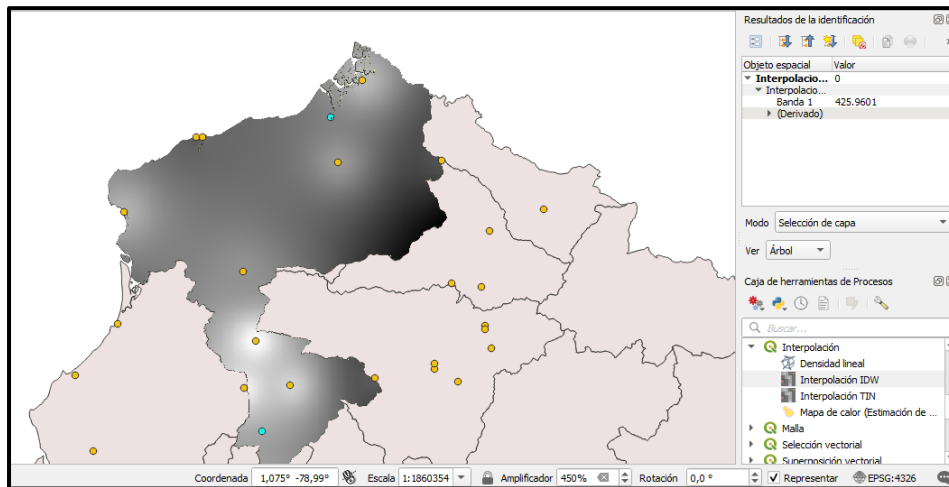
Para verificar si la interpolación posee poco margen de error, se realiza el siguiente procedimiento,

Paso 1: Dar clic en el icono (identificar objetos espaciales)  Este icono permite seleccionar cualquier área dentro de la capa interpolada para consultar los parámetros interpolados (k, m, n).

Paso 2: Dar clic en la estación de prueba >> interpolación K como se muestra en la ilustración:



Paso 3: Aparece un cuadro de diálogo mostrando los resultados de la interpolación, tal como se detalla en la ilustración anterior. Repetir este procedimiento para cada uno de los parámetros (k, m, n).

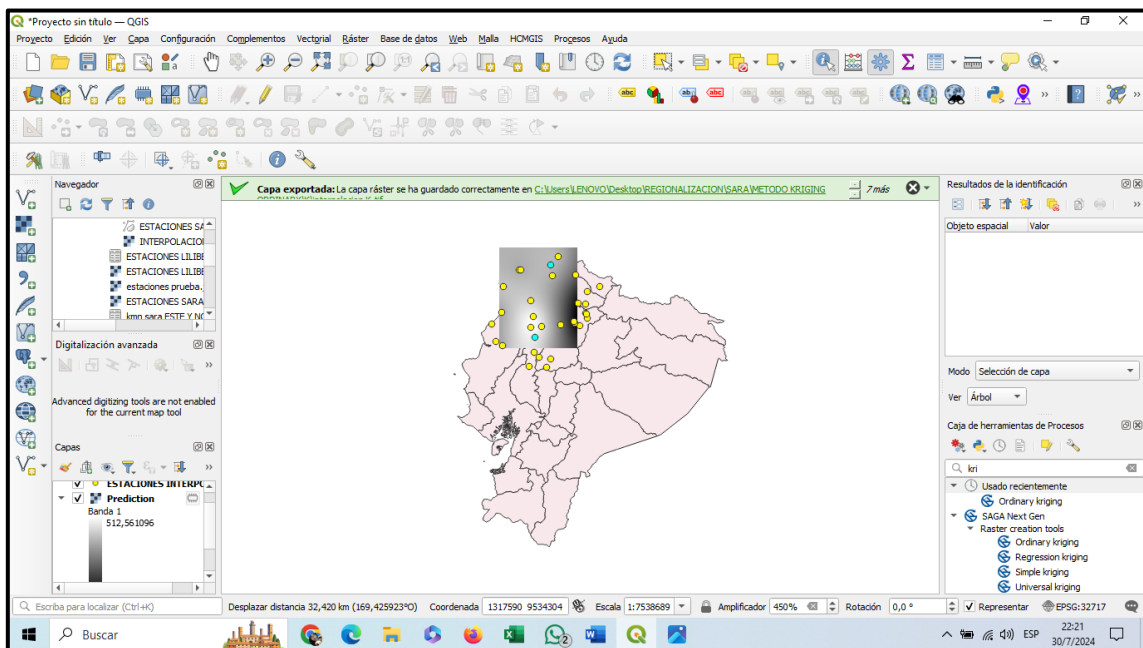
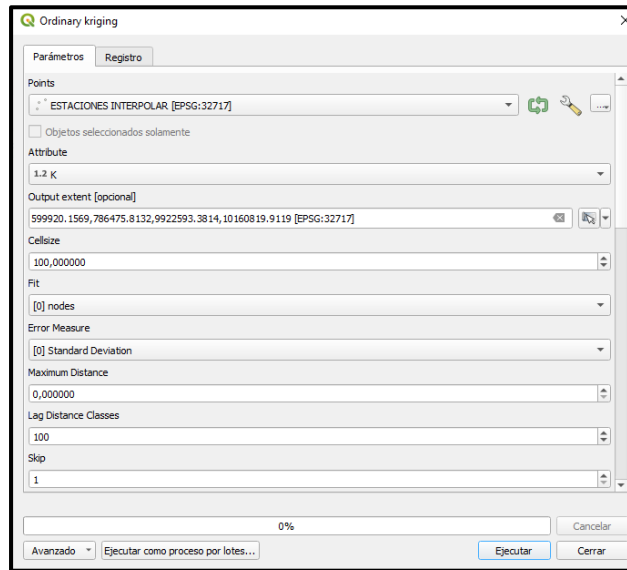


Para identificar el margen de error, se utiliza la ecuación 35 de error relativo. Esta ecuación proporciona el resultado de error en porcentaje de la interpolación.

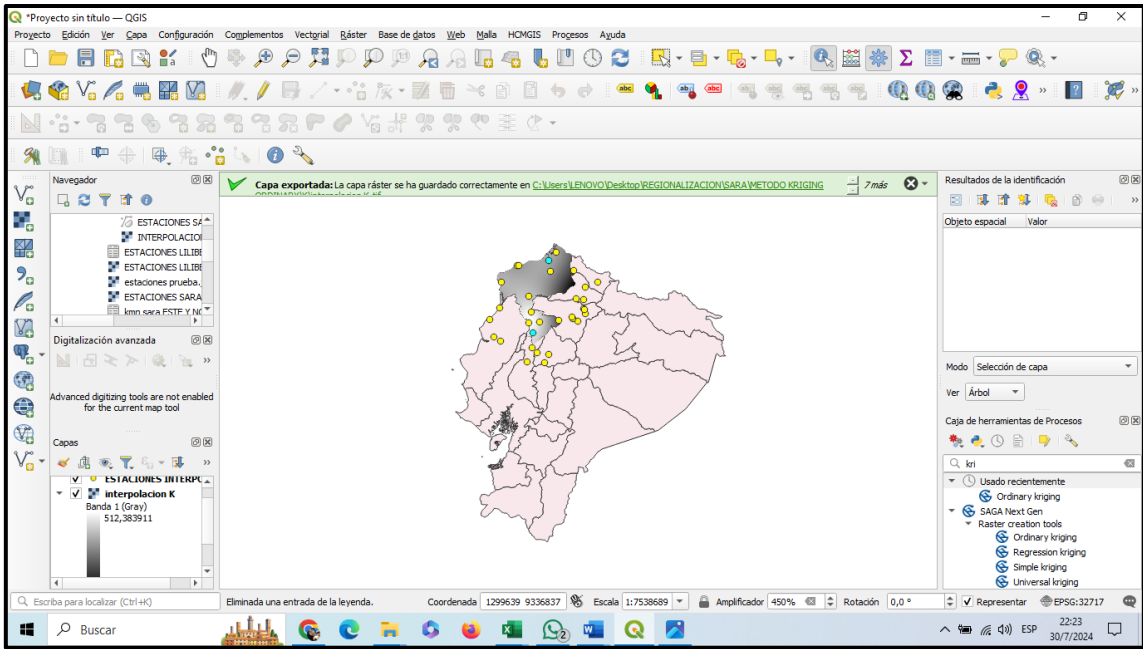
Método Kriging Ordinary (KO) en Qgis

Para este método se realiza los siguientes pasos:

Paso 1: Dar clic derecho en la barra de herramientas>>habilitar panel caja de herramientas de procesos >>SAGA Next Gen>>Ráster creación tolos>>Ordinary Kriging. Se configura los parámetros según con los requisitos de la interpolación, como se detalla en la ilustración 169, solo esos campos son llenados en la ventana, luego dar clic en ejecutar.



Se realiza el corte explicado en el método anterior, y su resultado es el siguiente:



Josue Rodríguez Santos

Ingeniero Civil – Universidad Central del Ecuador (UCE)

Docente de la Universidad de Guayaquil (UG). Consultor en Hidráulica, Hidrología y Sanitaria, especializado en modelación hidráulica 1D y 2D. Constructor de obras civiles e investigador en proyectos hidráulicos en la UCE, UG y ULVR. Experto en modelación hidráulica mediante modelos físicos reducidos. Investigador, expositor y autor de artículos científicos de relevancia regional e internacional. Autor de libros aplicados a la Ingeniería Civil.

Afiliación: Universidad de Guayaquil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1195-7153>

Pietro Corapi

Ingeniero Civil – Università della Calabria (Italia)

Con trayectoria docente en la Universidad de Guayaquil. Consultor en Hidrología, Hidráulica y Sanitaria, con aplicación de modelación 1D y 2D bajo enfoque práctico y base científica. BIM Specialist Infraestructure certificado y colaborador técnico adscrito al CAMILAB de la Università della Calabria. Investigador y autor de artículos científicos de relevancia regional e internacional.

Afiliación: Università della Calabria

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8626-0134>

Silvana Zambrano García

Ingeniera Civil – Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Investigadora en Ingeniería Civil con experiencia en desarrollo de metodologías para la gestión eficiente de proyectos. Consultora en planificación y gestión de proyectos de construcción en los sectores público y privado.

Afiliación: Universidad Politécnica del Litoral

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3098-7032>

Lilibeth Dayana Cedeño Espinoza

Ingeniera Civil – Universidad de Guayaquil

Experiencia en Hidrología y análisis de modelos matemáticos aplicados a la Ingeniería Civil mediante softwares especializados. Especialización en Inteligencia Artificial y Ciudades Inteligentes. Experiencia en evaluación de vulnerabilidad sísmica, gestión de riesgos y liderazgo de equipos. Investigadora, expositora y autora de artículos científicos de relevancia regional e internacional.

Afiliación: Universidad de Guayaquil

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0187-7949>

Sara Solange Peñafiel Díaz

Ingeniera Civil – Universidad de Guayaquil

Experiencia en Hidrología y análisis de modelos matemáticos aplicados a la Ingeniería Civil. Desarrollo investigativo en análisis hidrológico de precipitaciones extremas para la estimación de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF). Especialización en Inteligencia Artificial y Ciudades Inteligentes. Experiencia en evaluación de vulnerabilidad sísmica, gestión de riesgos y liderazgo de equipos. Investigadora, expositora y autora de artículos científicos de relevancia regional e internacional.

Afiliación: Universidad de Guayaquil

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9349-048X>

ISBN: 978-9942-53-148-3

