



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**REGIONALIZACIÓN DE LA CURVA IDF PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA
DEL RÍO PUCA, PROVINCIA DEL GUAYAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTORES: Ivan Danilo Corrales Zuñiga

Jean Pierre Quezada Molina

TUTOR: Ing. Luis Eduardo Moya Chávez, Mgs.

Guayaquil-Ecuador

2025

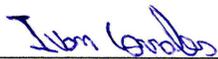
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Ivan Danilo Corrales Zuñiga con documento de identificación N° 0940512767 y Jean Pierre Quezada Molina con documento de identificación N° 0944211101; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 17 de enero del año 2025

Atentamente,



Ivan Danilo Corrales Zuñiga

0940512767



Jean Pierre Quezada Molina

0944211101

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ivan Danilo Corrales Zuñiga con documento de identificación No. 0940512767 y Jean Pierre Quezada Molina con documento de identificación No. 0944211101, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico de titulación: “Regionalización de la curva IDF para la cuenca hidrográfica del Río Puca, Provincia del Guayas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2025

Atentamente,



Ivan Danilo Corrales Zuñiga

0940512767



Jean Pierre Quezada Molina

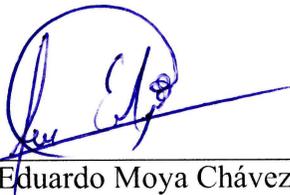
0944211101

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Eduardo Moya Chávez, Mgs., con documento de identificación N° 1310835457, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REGIONALIZACIÓN DE LA CURVA IDF PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PUCA, PROVINCIA DEL GUAYAS, realizado por Ivan Danilo Corrales Zuñiga con documento de identificación N° 0940512767 y por Jean Pierre Quezada Molina con documento de identificación N° 0944211101, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2025

Atentamente,



Ing. Luis Eduardo Moya Chávez, Mgs

1310835457

DEDICATORIA

A mi amado hermano, quien partió demasiado pronto, pero jamás dejó de estar presente en mi corazón.

Hoy cumpla la promesa que te hice cuando era pequeño, que llegaría a ser un profesional en la vida, esa promesa que nació entre sueños y risas.

Cada esfuerzo, cada desvelo y cada paso hacia este logro estuvieron guiados por tu recuerdo, por ese amor incondicional que siempre me diste y que me sigue impulsando, incluso en tu ausencia.

Te dedico este triunfo con la certeza de que, donde sea que estés, estás sonriendo orgulloso, como siempre lo estuviste.

Gracias por ser mi estrella guía. Este logro es para ti, con todo mi amor.

Ivan Danilo Corrales Zuñiga

Esta dedicatoria está destinada a mis padres, ya que son un pilar fundamental en mi vida; a mis amigos, quienes con su apoyo diario han sido una parte esencial de mi camino hasta aquí.

En especial, dedico estas palabras a una amistad muy significativa: Joshua Garaicoa, quien es un gran ejemplo por seguir tanto como personal y laboralmente. Sin ellos, no habría alcanzado este logro ni estaría preparado para afrontar lo que el futuro me depara.

Jean Pierre Quezada Molina

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios, por darme salud, fortaleza y sabiduría durante este largo camino. Su guía y bendiciones han sido mi mayor fuente de esperanza y motivación en cada paso de este proceso.

A mis padres, Ivan y Cinthya, por ser ejemplos inquebrantables de dedicación, responsabilidad y amor. Gracias, papá, por tu sabiduría y por estar siempre presente con palabras de aliento, y gracias, mamá, por tu fortaleza y por enseñarme que, incluso frente a los mayores retos, siempre hay una solución. Su apoyo constante, tanto emocional como económico, nunca me faltó, y su perseverancia y sacrificio han sido mi mayor inspiración para alcanzar este logro.

A mis hermanas, Gabriela y Daniela, por ser mi fuente constante de motivación y alegría. A pesar de las adversidades, su apoyo y fe en mí han sido mi impulso para seguir avanzando. Su amor incondicional ha hecho que cada desafío sea más llevadero.

A mi novia, Mariel, por tu amor, paciencia y comprensión. Gracias por estar siempre a mi lado, alentándome a dar lo mejor de mí y recordándome que, juntos, podemos superar cualquier obstáculo.

A mis amigos más cercanos que me pudo dar la universidad, quienes con su apoyo, amistad y palabras de ánimo hicieron que este trayecto fuera más llevadero. Su compañía en los buenos y malos momentos ha sido invaluable y siempre los llevaré conmigo como parte de este logro.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Civil que me brindaron su guía y conocimientos durante este largo proceso. En especial, mi agradecimiento a nuestro tutor al Ingeniero Moya, quien, a pesar del poco tiempo en que llegó a la carrera, supo brindarme su apoyo y orientación, contribuyendo de manera significativa a mi progreso y al desarrollo de nuestra tesis.

A todos ustedes, les dedico este logro con profunda gratitud y amor, porque sin su apoyo, fe y motivación, este sueño no habría sido posible.

Ivan Danilo Corrales Zuñiga

Agradezco primero a, Dios por bendecirme y ser una guía, ayudándome a alcanzar este triunfo.

A, mis padres Sonia Molina y José Quezada, por ser el motor para cumplir mis metas, dándome su apoyo y confianza gracias por los consejos, valores transmitidos que me han dado desde muy pequeño. Estoy muy agradecido por todo el apoyo que nunca me faltó.

Mi tía Susana Guayca por brindarme su confianza, su apoyo moral cuando más lo necesitaba. De esta manera quiero agradarte por el gran amor que siempre me demostraste en cada momento y ser una especial persona para mi vida.

A mis hermanos, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. Su apoyo, confianza y los valores que me han transmitido me han motivado a seguir adelante. Estoy profundamente agradecido por estar siempre a mi lado en cada paso del camino

A mi perro Zeus, mi fiel compañero, que con su alegría y lealtad ha sido un apoyo especial en mi vida. Su compañía incondicional en los buenos y malos momentos me ha dado fuerza y consuelo.

De esta manera, quiero expresar mi gratitud por el gran amor que siempre me han demostrado y por ser personas especiales e importantes en mi vida.

Jean Pierre Quezada Molina

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo determinar la precipitación máxima en puntos específicos de interés para proyectos de infraestructura, como embalses y sistemas de drenaje, en la provincia del Guayas, Ecuador.

Debido a la limitada disponibilidad de estaciones pluviométricas y la existencia de registros incompletos, se llevó a cabo la generación de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) mediante la comparación de métodos estadísticos.

Se seleccionó el enfoque propuesto por Velasco Ramos y Garaicoa Velásquez (2023), destacado por su eficacia en la estimación de datos faltantes, la identificación de datos atípicos, y el uso de la herramienta Hydrognomon para realizar análisis estadísticos avanzados. Adicionalmente, se aplicó una técnica de interpolación espacial utilizando el método de Kriging Ordinario.

Este método, reconocido por su capacidad para generar estimaciones precisas a partir de datos dispersos, permitió regionalizar los parámetros de las curvas IDF y aplicarlos en áreas dentro de la región de estudio donde no existen estaciones pluviométricas, proporcionando así un conjunto de datos homogéneo y representativo para toda la provincia.

La interpolación espacial mediante Kriging Ordinario es fundamental para la extrapolación de los resultados y la creación de mapas que puedan ser utilizados para la planificación y gestión de proyectos hidráulicos.

Los resultados son de gran utilidad para el diseño y planificación de infraestructuras hidráulicas, así como para la gestión de riesgos asociados a fenómenos hidrológicos extremos.

Palabras claves: curva IDF, regionalización, cuenca hidrográfica, Río Puca, precipitaciones extremas, software Hydrognomon, ArcGIS, método Kriging.

ABSTRACT

The present titration work aims to determine the maximum precipitation at specific points of interest for infrastructure projects, such as reservoirs and drainage systems, in the province of Guayas, Ecuador.

Due to the limited availability of pluviometric stations and the existence of incomplete records, the generation of IDF (Intensity-Duration-Frequency) curves was carried out by comparing statistical methods.

The approach proposed by Velasco Ramos and Garaicoa Velásquez (2023) was selected, highlighted by its effectiveness in estimating missing data, identifying atypical data, and the use of the Hydrognomon tool to perform advanced statistical analysis. Additionally, a spatial interpolation technique was applied using the Ordinary Kriging method. This method, recognized for its ability to generate accurate estimates from scattered data, allowed the IDF curve parameters to be regionalized and applied in areas within the study region where there are no rainfall stations, thus providing a homogeneous and representative data set for the entire province. Spatial interpolation using Ordinary Kriging is essential for the extrapolation of results and the creation of maps that can be used for the planning and management of hydraulic projects.

The results are very useful for the design and planning of hydraulic infrastructures, as well as for the management of risks associated with extreme hydrological phenomena.

Keywords: IDF curve, regionalization, hydrographic basin, Puca River, extreme rainfall, Hydrognomon software, ArcGIS, Kriging method.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DEL ESTUDIO.....	9
1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.3. JUSTIFICACIÓN	11
1.4. OBJETIVOS	12
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
CAPITULO II.....	13
MARCO HIPOTÉTICO	13
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	13
2.1. EL AGUA EN LA ACTUALIDAD	13
2.2. LA HIDROLOGÍA	15
2.3. LA HIDROLOGÍA EN LA INGENIERIA CIVIL.....	15
2.4. CICLO HIDROLÓGICO.....	16
2.5. EVAPORACIÓN.....	17
2.6. CONDENSACIÓN	17
2.7. FILTRACIÓN.....	17
2.8. LA PRECIPITACIÓN	18

2.9. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN	18
2.10. ESTUDIO DE PRECIPITACIÓN	18
2.11. REGISTRO DE DATOS	19
2.12. REVISIÓN DE CONSISTENCIA Y CONGRUENCIA DE DATOS	20
2.13. PRUEBA T DE STUDENT.....	21
2.14. MÉTODOS PARA EL RELLENO DE DATOS.....	21
2.15. ESCORRENTÍA	22
2.16. LA GEOMORFOMETRÍA	22
2.17. CUENCA DE DRENAJE	22
2.18. ISOYETA	23
2.19. CURVA DE PLUVIOSIDAD	25
2.20. REGIONALIZACIÓN DE LA CURVA IDF.....	25
2.21. ESTADÍSTICA.....	26
2.22. MEDIA ARITMÉTICA.....	26
2.23. MÉTODO DE RELACIÓN NORMALIZADA	27
2.24. MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL	27
2.25. TIEMPO DE DOMINIO.....	28
2.26. SERIES DE TIEMPO ESPACIAL.....	28
2.27. PRUEBA DE BONDAD DEL AJUSTE SMIRNOV-KOLMOGOROV	29
2.28. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.....	29

2.29. MÉTODO GUMBEL.....	29
2.30. VALORES EXTREMOS.....	30
2.31. PERÍODO DE RETORNO	30
2.32. FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PARA VALORES EXTREMOS.....	31
2.33. DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXTREMOS TIPO GUMBEL	31
2.34. LÍMITE MÁXIMO DE PRECIPITACIÓN ESTIMADA.....	32
2.35. ESTACIONES METEREOLÓGICAS	32
2.36. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN UNA ESTACIÓN METEREOLÓGICAS	35
2.37. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI)	38
2.38. IMPORTANCIA DEL INAHMI	38
CAPITULO III.....	39
3. METODOLOGÍA	39
3. HERRAMIENTAS A UTILIZAR	39
3.1. MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	40
3.4. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	41

3.4.1. FASE 1: RECOPIACIÓN DE DATOS.....	42
3.4.2. FASE 2: PROCESAMIENTO DE DATOS CON HYDROGNOMON.....	42
3.4.3. FASE 3: REGIONALIZACIÓN DE LA CURVA IDF CON ARCGIS	43
3.4.4. FASE 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	44
3.5. SOFTWARE DE PROCESAMIENTO HIDROLÓGICO HYDROGNOMON. ..	44
3.5.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA PARA EL ANÁLISIS DEPRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS	45
3.5.2. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN EL HYDROGNOMON	47
3.5.3. DETERMINACIÓN DE LOS PERÍODOS DE RETORNO.....	53
3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS EXCEL	56
3.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ARCGIS	56
3.4. METODO DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL KRIGING.....	56
3.5 INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW)	57
3.6. MEDIA ARITMÉTICA.....	57
3.7. MÉTODO DE RELACIÓN NORMALIZADA	58
3.8. MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL	58
3.9. PERÍODO DE RETORNO.....	59
3.10. DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXTREMOS TIPO GUMBEL	59
CAPITULO IV.....	61
4. DESARROLLO	61

4.1. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	61
4.2. COMPLEMENTACIÓN DE DATOS.....	63
4.3. COMPLEMENTACIÓN DE DATOS.....	64
4.3.1. DESARROLLO DE CURVAS IDF Y REGIONALIZACIÓN	64
4.4 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) – ARCGIS.....	66
4.5. INTERPOLACIÓN ESPACIAL KRIGING	70
CAPITULO V	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
5.1 CONCLUSIONES	90
5.2 RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS	96

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. INTRODUCCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA.....	8
ILUSTRACIÓN 2. LOCALIZACIÓN DEL RÍO PUCA.....	10
ILUSTRACIÓN 3. ESQUEMA DEL CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA.....	16
ILUSTRACIÓN 4. MODELO CONCEPTUAL DE PROCESOS EN LA MEDICIÓN DE LLUVIA.....	19
ILUSTRACIÓN 5. PARTES DE LA CUENCA DE DRENAJE.....	23
ILUSTRACIÓN 6. MAPA DE ISOYETAS MEDIA ANUAL 2010.....	24
ILUSTRACIÓN 7. REPRESENTACIÓN DE LA CURVA IDF.....	26
ILUSTRACIÓN 8. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA	28
ILUSTRACIÓN 9. MAPA DE LA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS 2017	33
ILUSTRACIÓN 10. MAPA DE LA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS CONVENCIONALES 2017	34
ILUSTRACIÓN 11. TERMÓMETRO.....	35
ILUSTRACIÓN 12. HIGRÓMETRO	36
ILUSTRACIÓN 13. PLUVIÓMETRO	37
ILUSTRACIÓN 14. PLUVIÓGRAFO.....	38
ILUSTRACIÓN 15. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	41
ILUSTRACIÓN 16. INFORMACIÓN GENERAL - HYDROGNOMON	46
ILUSTRACIÓN 17. INFORMACIÓN GENERAL - HYDROGNOMON	46
ILUSTRACIÓN 18. CONFIGURACIÓN DEL INTERVALO DE TIEMPO - HYDROGNOMON	47

ILUSTRACIÓN 19. INGRESO DEL AÑO INICIAL DE LA SERIE DE TIEMPO, ESTACIÓN M166 - HYDROGNOMON.....	47
ILUSTRACIÓN 20. INTRODUCCIÓN DE NÚMERO DE AÑOS CONSECUTIVOS DE LOS DATOS - HYDROGNOMON.....	48
ILUSTRACIÓN 21. DATOS DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN M166 INGRESADOS - HYDROGNOMON.....	49
ILUSTRACIÓN 22. GRÁFICO DE PROBABILIDAD - HYDROGNOMON.....	50
ILUSTRACIÓN 23. GRÁFICO DE PROBABILIDAD UTILIZANDO LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL MAX - HYDROGNOMON.....	51
ILUSTRACIÓN 24. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE BONDAD PARA LA ESTACIÓN - HYDROGNOMON	52
ILUSTRACIÓN 25. SELECCIÓN DE PERIODO DE RETORNO - HYDROGNOMON	53
ILUSTRACIÓN 26. PERIODOS DE RETORNOS DE DISTRIBUCIÓN GAMMA DE LA ESTACIÓN M0166 - HYDROGNOMON	54
ILUSTRACIÓN 27. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS AÑO 2009	60
ILUSTRACIÓN 28. FORMATO DE PRESENTACIÓN PARA DATA METEOROLÓGICA INAMHI	61
ILUSTRACIÓN 29. MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	62
ILUSTRACIÓN 30. ZONAS DEL SISTEMA UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM).....	66

ILUSTRACIÓN 31. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	67
ILUSTRACIÓN 32. ÁREA TOTAL DEL RÍO PUCA.....	68
ILUSTRACIÓN 33. ESTACIONES DE ESTUDIO.....	69
ILUSTRACIÓN 34. ARTOOLBOX ARCGIS	70
ILUSTRACIÓN 35. MÉTODO DE KRIGING.....	71
ILUSTRACIÓN 36. ENVIRONMENTS	72
ILUSTRACIÓN 37. RASTER ANALYSIS.....	73
ILUSTRACIÓN 38. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M005.....	74
ILUSTRACIÓN 39. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I M005.....	74
ILUSTRACIÓN 40. CURVA IDF ESTACIÓN M005	75
ILUSTRACIÓN 41. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M006.....	76
ILUSTRACIÓN 42. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I M006.....	76
ILUSTRACIÓN 43. CURVA IDF ESTACIÓN M006	77
ILUSTRACIÓN 44. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0408.....	78
ILUSTRACIÓN 45. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I M0408.....	78
ILUSTRACIÓN 46. CURVA IDF ESTACIÓN M0408	79
ILUSTRACIÓN 47. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0464.....	80
ILUSTRACIÓN 48. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I M0464.....	80
ILUSTRACIÓN 49. CURVA IDF ESTACIÓN M0464	81

ILUSTRACIÓN 50. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0159.....	82
ILUSTRACIÓN 51. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I M0159.....	82
ILUSTRACIÓN 52. CURVA IDF ESTACIÓN M0159	83
ILUSTRACIÓN 53. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0166.....	84
ILUSTRACIÓN 54. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I	84
ILUSTRACIÓN 55. CURVA IDF ESTACIÓN M0166	85
ILUSTRACIÓN 56. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0171.....	86
ILUSTRACIÓN 57. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I	86
ILUSTRACIÓN 58. CURVA IDF ESTACIÓN M0171	87
ILUSTRACIÓN 59. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0475.....	88
ILUSTRACIÓN 60. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I	88
ILUSTRACIÓN 61. CURVA IDF ESTACIÓN M0475	89
ILUSTRACIÓN 62. MAPA REGIONALIZADO RETORNO DE 2 AÑOS CON EL MÉTODO DE KRIGING	96
ILUSTRACIÓN 63. MAPA REGIONALIZADO RETORNO DE 5 AÑOS CON EL MÉTODO DE KRIGING	97
ILUSTRACIÓN 64. MAPA REGIONALIZADO RETORNO DE 10 AÑOS CON EL MÉTODO DE KRIGING	98

ILUSTRACIÓN 65. MAPA REGIONALIZADO RETORNO DE 25 AÑOS CON EL MÉTODO DE KRIGING	99
ILUSTRACIÓN 66. MAPA REGIONALIZADO RETORNO DE 50 AÑOS CON EL MÉTODO DE KRIGING	100
ILUSTRACIÓN 67. MAPA REGIONALIZADO RETORNO DE 100 AÑOS CON EL MÉTODO DE KRIGING	101

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. DIEZ PEORES DESASTRES EN AMÉRICA DEL SUR - NÚMERO DE MUERTES REGISTRADAS (1970-2019)	6
TABLA 2. DIEZ PEORES DESASTRES EN AMÉRICA DEL SUR - PÉRDIDAS ECONÓMICAS (1970-2019)	6
TABLA 3. ENFERMEDADES VINCULADAS A UN SANEAMIENTO Y UNA HIGIENE DEFICIENTE	14
TABLA 4. RESULTADOS PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS DE LA ESTACIÓN M0166 -HYDROGNOMON	55
TABLA 5. ESTACIONES METEOROLÓGICAS DENTRO Y ALREDEDOR DE LA ZONA DE ESTUDIO	63
TABLA 6. ESTACIONES NÚMERO DE AÑOS	63
TABLA 7. DISTRIBUCIONES TEÓRICAS DE MEJOR AJUSTE PARA CADA ESTACIÓN	64
TABLA 8. PARÁMETROS K-M-N	65
TABLA 9. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M005	73
TABLA 10. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M006	75
TABLA 11. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0408	77
TABLA 12. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0464	79
TABLA 13. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0159	81
TABLA 14. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0166	83
TABLA 15. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0171	85
TABLA 16. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESTACIÓN M0475	87
TABLA 17. RESUMEN DE TIEMPO DE RETORNO	89

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de datos históricos precisos y continuos es fundamental para el desarrollo de estudios hidrológicos confiables y el diseño de infraestructuras resilientes. Sin embargo, en muchas regiones del mundo, la falta de registros completos limita significativamente la capacidad de predecir eventos extremos y planificar medidas efectivas de mitigación de riesgos. De acuerdo con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2017), Ecuador enfrenta graves deficiencias en la cobertura y la calidad de los registros pluviométricos, lo que afecta el análisis hidrológico en diversas cuencas, incluyendo la del Río Puca.

El uso de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) es esencial para modelar las precipitaciones extremas y sus períodos de retorno, permitiendo diseñar estructuras de drenaje que mitiguen el riesgo de inundaciones. Sin embargo, según Brutsaert (2005), la falta de datos a largo plazo reduce la confiabilidad de las curvas IDF, lo que conlleva diseños subóptimos que pueden derivar en fallos estructurales.

En América Latina, numerosos casos de colapsos urbanos han sido vinculados a estimaciones erróneas de precipitación, como lo documenta el estudio de la Asociación Latinoamericana de Hidrología (ALH, 2020) sobre las inundaciones de Medellín en 2010.

La situación del Río Puca no es ajena a esta problemática. Con registros incompletos de precipitación y estaciones meteorológicas que han dejado de operar en períodos críticos, el

análisis de los patrones de lluvia en esta cuenca ha estado plagado de incertidumbre (Campos Aranda, D. F. (1998).

La falta de datos ha dificultado la implementación de medidas preventivas adecuadas. Por ejemplo, el caso del desbordamiento del río Daule en 2013, exacerbado por lluvias intensas mal proyectadas, ilustra las consecuencias de diseñar infraestructura sin un adecuado respaldo hidrológico (INAMHI, 2014).

La escasez de datos hidrológicos también se manifiesta en regiones donde las redes de monitoreo son insuficientes para captar la variabilidad espacial de la precipitación. Según Coles (2001), las estaciones mal distribuidas generan lagunas informativas que dificultan la extrapolación de patrones regionales, comprometiendo la representatividad de los modelos hidrológicos.

En el caso de la cuenca del Río Puca, la limitación en la densidad de estaciones meteorológicas ha reducido la capacidad de prever inundaciones, lo que expone a las comunidades a mayores riesgos. Además, la dependencia de registros manuales puede introducir errores humanos y demoras en la disponibilidad de datos.

La metodología propuesta para este estudio emplea el método de relación normalizada y la interpolación espacial Kriging para superar las deficiencias en la disponibilidad de datos. Según Maidment (1993), estas técnicas permiten estimar valores faltantes mediante patrones estadísticos de precipitación regionales, lo que contribuye a mejorar la representatividad de los modelos hidrológicos. Adicionalmente, la aplicación del software Hydrognomon para el

procesamiento de series temporales ofrece una base sólida para la construcción de curvas IDF regionalizadas adaptadas a las condiciones específicas del Río Puca.

La carencia de datos no solo influye en la construcción de modelos, sino también en la capacidad de manejar los recursos hídricos durante periodos de sequía o precipitaciones extremas.

Según el Banco Mundial (2020), países con registros hidrológicos insuficientes experimentan un aumento del 30 % en el riesgo de daños por inundaciones debido a diseños deficientes en la infraestructura. Además, estudios realizados en la cuenca del Nilo muestran cómo la falta de series temporales continuas de caudal ha resultado en estimaciones poco confiables que comprometen la seguridad hídrica regional (Conway, 2017).

El impacto de la falta de datos también se ha evidenciado en el costo de los proyectos de ingeniería. Diseños que no consideran adecuadamente la variabilidad climática conducen a sobreestimaciones que incrementan los costos de construcción o a subestimaciones que comprometen la seguridad. Como indica Schreider (2013), la integración de información incompleta sin un análisis crítico puede llevar a la construcción de obras ineficaces y con menor vida útil.

Además de las limitaciones económicas, la escasez de datos también agrava los problemas de seguridad hídrica. Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (UNESCO, 2018), las decisiones de gestión basadas en datos incompletos pueden intensificar la vulnerabilidad de las comunidades, especialmente en zonas propensas a eventos extremos.

Las regiones con información hidrológica deficiente experimentan mayor frecuencia de fallos en sistemas de abastecimiento de agua, como lo demuestran los casos de sequías prolongadas en la costa ecuatoriana durante la última década.

La disponibilidad de datos completos también desempeña un papel vital en la modelación predictiva y en la implementación de sistemas de alerta temprana.

En países desarrollados, el uso de redes automáticas de monitoreo ha permitido reducir significativamente el tiempo de respuesta ante inundaciones. En contraste, regiones sin una infraestructura adecuada de monitoreo continúan enfrentando desastres evitables debido a la falta de información actualizada y precisa (WMO, 2016). La mejora de estas redes es esencial para disminuir la brecha de seguridad hídrica y reducir las pérdidas humanas y económicas.

El desarrollo de este estudio busca no solo llenar el vacío de información histórica para la cuenca del Río Puca, sino también contribuir a la gestión sostenible del recurso hídrico.

Según Coles (2001), el enfoque de distribuciones de valores extremos es vital para modelar eventos de precipitación rara, y su aplicación junto con la regionalización de la curva IDF permitirá establecer una herramienta de referencia para el diseño de infraestructura.

La carencia de redes meteorológicas adecuadas no solo afecta la planificación urbana y rural, sino también la resiliencia de las comunidades ante eventos extremos.

La falta de datos dificultó las alertas tempranas durante los eventos de inundación que afectaron a la provincia del Guayas en 2012, según reportes de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR, 2013).

Este caso subraya la necesidad de mejorar la calidad y disponibilidad de la información pluviométrica para la toma de decisiones.

El presente trabajo ofrece un enfoque integral que combina estadística, tecnologías de información geográfica y modelos de interpolación para enfrentar las limitaciones de datos.

A través de un análisis detallado de las curvas IDF regionalizadas, se busca fortalecer el diseño de infraestructura hidráulica, mejorar la eficiencia de la inversión pública y garantizar la seguridad de las comunidades vulnerables.

Este estudio también contribuirá a la investigación futura, proporcionando una base metodológica para abordar retos similares en otras cuencas con problemas de disponibilidad de datos históricos.

La recopilación y disponibilidad de datos históricos sobre desastres es esencial para la gestión del riesgo, planificación de infraestructura y desarrollo sostenible. Según la base de datos internacional EM-DAT, entre 2000 y 2019 se registraron más de 13,000 desastres que causaron la muerte de 1.5 millones de personas y afectaron a más de 4,000 millones de personas en todo el mundo (CRED, 2021).

El cambio climático ha amplificado significativamente los riesgos asociados a fenómenos hidrológicos, meteorológicos y climáticos. De acuerdo con el Atlas de la OMM sobre mortalidad y pérdidas económicas por desastres (1970-2019), el número de desastres relacionados con estos peligros se ha quintuplicado, pero las muertes se redujeron gracias a mejoras en los sistemas de alerta temprana (OMM, 2021).

En América del Sur, las inundaciones representaron el 59 % de los desastres, el 77 % de las muertes y el 58 % de las pérdidas económicas durante los últimos 50 años. Este patrón resalta la vulnerabilidad de la región a eventos hidrológicos extremos y la necesidad de estrategias de mitigación efectivas (CRED, 2021).

Tabla 1. Diez peores desastres en América del Sur - Número de muertes registradas (1970-2019)

TIPO DE DESASTRE	AÑO	PAÍS	MUERTES
Crecida	1999	República Bolivariana de Venezuela	30.000
Crecida	2011	Brasil	900
Deslizamiento de tierra	1987	Colombia	640
Deslizamiento de tierra	1971	Perú	600
Tormenta	1997	Perú	518
Temperatura extrema	2014	Perú	505
Deslizamiento de tierra	1973	Perú	500
Crecida	2010	Colombia	418
Temperatura extrema	2010	Perú	409
Deslizamiento de tierra	1983	Perú	364

Fuente: (OMM). (2021)

Tabla 2. Diez peores desastres en América del Sur - Pérdidas económicas (1970-2019)

TIPO DE DESASTRE	AÑO	PAÍS	Pérdidas económicas (en miles de millones de dólares)
Crecida	1999	República Bolivariana de Venezuela	30.000
Crecida	2011	Brasil	900
Deslizamiento de tierra	1987	Colombia	640
Deslizamiento de tierra	1971	Perú	600
Tormenta	1997	Perú	518
Temperatura extrema	2014	Perú	505
Deslizamiento de tierra	1973	Perú	500
Crecida	2010	Colombia	418
Temperatura extrema	2010	Perú	409
Deslizamiento de tierra	1983	Perú	364

Fuente: (OMM). (2021)

Según un estudio publicado en la revista Nature Communications, aproximadamente 2.200 millones de personas, es decir, el 29% de la población mundial, residen en áreas que podrían experimentar inundaciones con un período de retorno de 100 años.

De estas, cerca de 1.470 millones de personas (19% de la población mundial) están directamente expuestas a inundaciones superiores a 0,15 metros de profundidad, niveles que pueden ser potencialmente mortales, especialmente para niños y personas con discapacidades (Cadena SER. (2024).

El cambio climático ha intensificado fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes y lluvias torrenciales, debido al calentamiento global causado por actividades humanas, la corriente en chorro polar, afectada por el calentamiento del Ártico, provoca tormentas severas en regiones como España, la inteligencia artificial proyecta que el umbral crítico de 1,5 °C de calentamiento global se superará antes de 2040, con regiones como el Mediterráneo enfrentando aumentos de hasta 3 °C para 2060.

Expertos del IPCC advierten que el aumento del nivel del mar podría hacer desaparecer varias ciudades costeras españolas en unos 60 años. En 2025, la crisis climática seguirá siendo una gran amenaza, con 2024 cerrando como el año más cálido en milenios (IPCC). (2021).

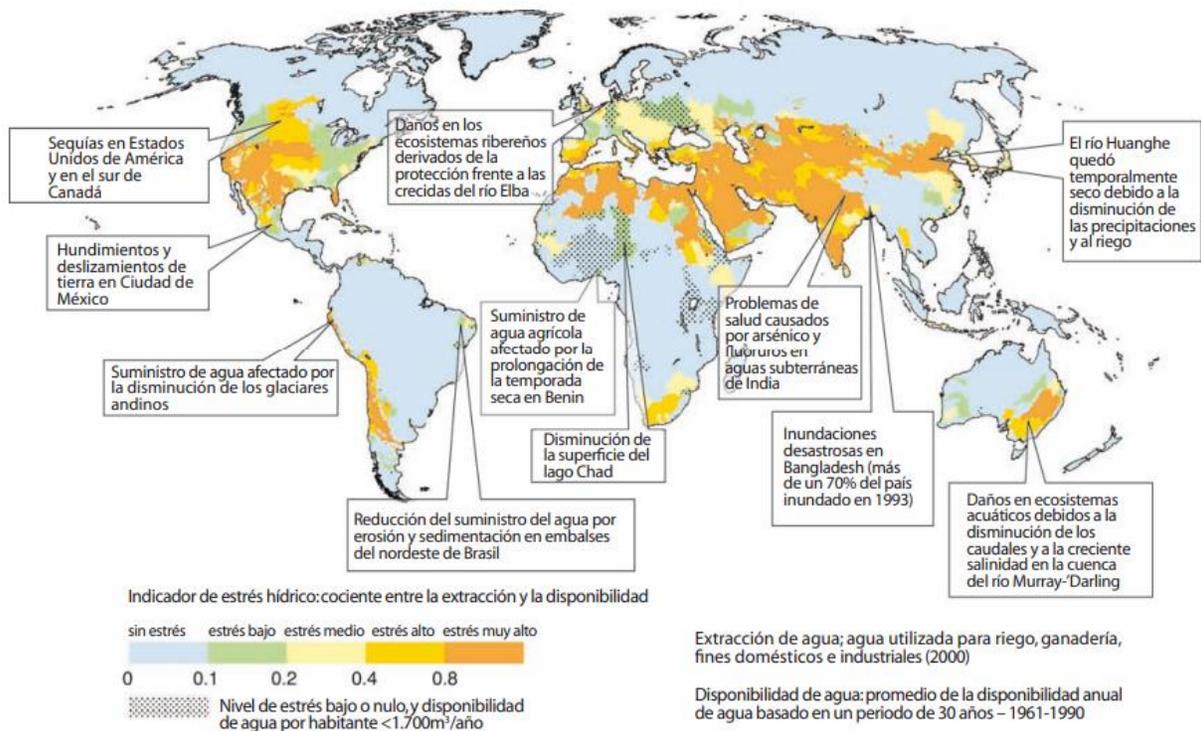


Ilustración 1. Introducción al cambio climático y el agua

Fuente: (IPCC). (2008)

Todos los componentes del ciclo hidrológico presentan una variabilidad natural notable – en escalas de tiempo interanuales a decenales– que enmascara frecuentemente las tendencias a largo plazo. Subsisten todavía incertidumbres importantes respecto a la tendencia de las variables hidrológicas, debido a las grandes diferencias regionales y a limitaciones en la cobertura espacial y temporal de las redes de monitoreo (Huntington, 2006).

1.1. PROBLEMA DEL ESTUDIO

El Río Puca, ubicado en una región costera con características meteorológicas y topográficas particulares, presenta desafíos en la gestión de sus recursos hídricos debido a las variaciones extremas de precipitación y la falta de datos históricos precisos.

La regionalización de la curva IDF se vuelve crucial para estimar de manera adecuada las lluvias máximas que pueden ocurrir en distintos períodos de retorno, lo que facilita el diseño de infraestructuras de control y mitigación de inundaciones.

Uno de los principales problemas del Río Puca es la ocurrencia de eventos de precipitaciones intensas que resultan en inundaciones y desbordes, afectando áreas residenciales, agrícolas y comerciales.

Sin un análisis preciso de la curva IDF, las infraestructuras hidráulicas, como los sistemas de drenaje, presas o canales, se diseñan con subestimaciones o sobreestimaciones, lo que puede agravar las inundaciones o generar infraestructuras innecesariamente costosas.

El Río Puca enfrenta una situación crítica, especialmente en su cuenca media y baja, donde las poblaciones son más vulnerables a los desbordes. El régimen de lluvias ha cambiado en las últimas décadas, y no se cuenta con un sistema adecuado de predicción o alerta temprana para prevenir desastres.

Las infraestructuras hidráulicas actuales, como diques y sistemas de drenaje, no son suficientes ni están adaptadas a los nuevos patrones de precipitación. Además, la planificación de nuevas construcciones no toma en cuenta la variabilidad hidrológica debido a la ausencia de curvas IDF actualizadas y regionalizadas.

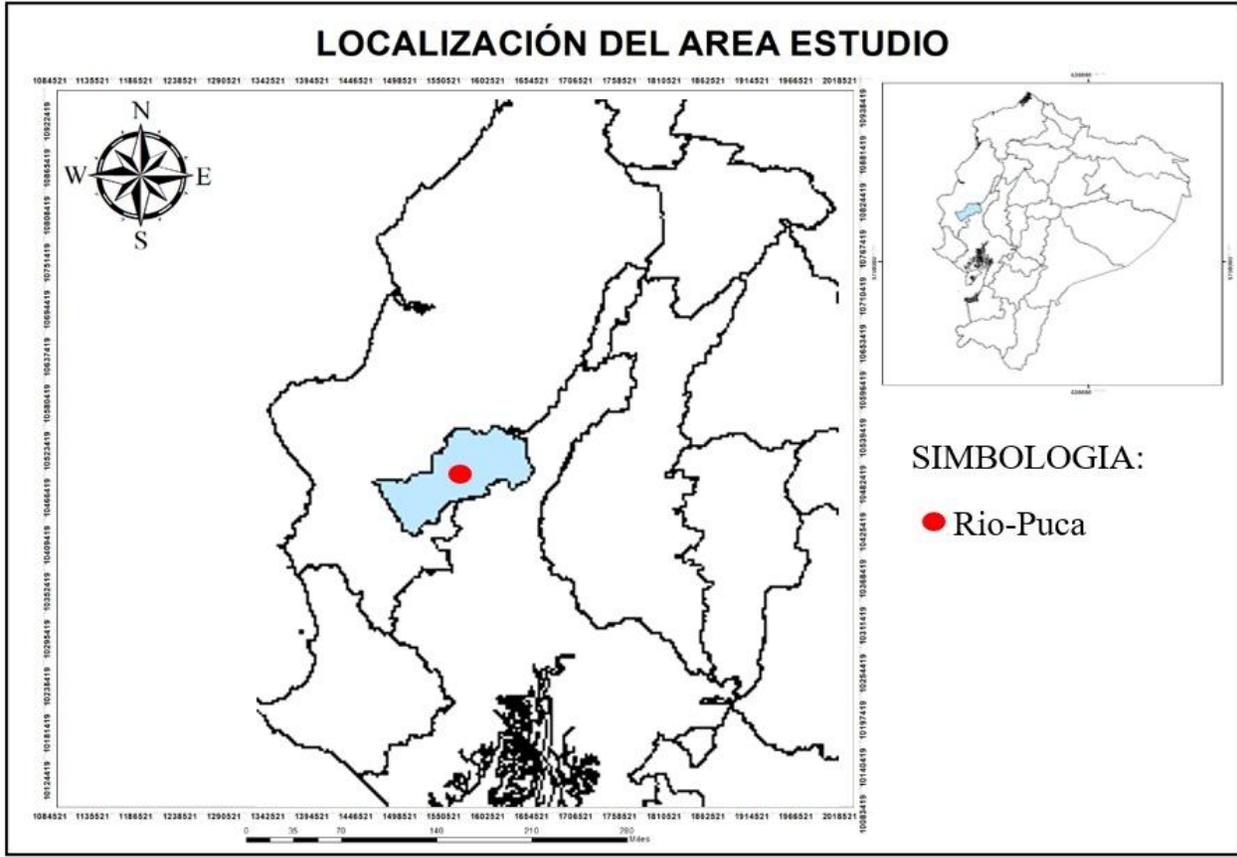


Ilustración 2. Localización del Río Puca

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influye la regionalización de la curva Intensidad-¿Duración-¿Frecuencia (IDF) en la mejora del diseño hidráulico y la gestión del riesgo de inundaciones en la cuenca del Río Puca, a través de una estimación más precisa de las lluvias extremas en distintos puntos de la cuenca?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La regionalización de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la cuenca hidrográfica del Río Puca, ubicada en la provincia del Guayas, Ecuador, es de gran relevancia debido a los retos asociados a la gestión de los recursos hídricos en esta región.

Las características meteorológicas, geomorfométrica y topográficas de la cuenca, junto con la alta variabilidad en las precipitaciones, generan un entorno propenso a eventos extremos como las inundaciones, los cuales han afectado significativamente tanto a la infraestructura urbana como a las áreas agrícolas y comerciales.

La precisión en la estimación de lluvias máximas para diferentes períodos de retorno, mediante la curva IDF, es crucial para el diseño de infraestructuras hidráulicas adecuadas, tales como sistemas de drenaje, canales y presas.

En la actualidad, la cuenca del Río Puca carece de un análisis detallado y regionalizado de esta curva, lo que provoca que las infraestructuras existentes no siempre respondan de manera eficiente ante eventos de lluvias intensas.

Sin un enfoque técnico riguroso, el riesgo de subestimaciones puede llevar a fallos en la protección contra inundaciones, mientras que las sobreestimaciones pueden generar costos innecesarios y desperdicio de recursos económicos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar la regionalización de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la cuenca hidrográfica del Río Puca.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar los datos hidrometeorológicos de las estaciones que influyen en la cuenca del Río Puca, para desarrollar la regionalización de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).
- Desarrollar modelos estadísticos y probabilísticos que permitan generar curvas IDF regionalizadas para distintos períodos de retorno y sectores a lo largo del trayecto del Río Puca por medio del software Hydrognomon.
- Generar las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) a partir de los datos de precipitación y realizar su regionalización en la cuenca del Río Puca utilizando ArcGIS.

CAPITULO II

MARCO HIPOTÉTICO

La regionalización de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en la cuenca del Río Puca es crucial para mejorar la precisión en la estimación de lluvias extremas. Este enfoque permitirá ajustar el diseño de infraestructuras hidráulicas y sistemas de drenaje a las particularidades climáticas de la región, lo que resulta en una gestión más eficaz de los recursos hídricos.

Además, al proporcionar datos más ajustados a la realidad hidrológica local, se contribuirá a la reducción del riesgo de inundaciones, garantizando así la seguridad y resiliencia de las comunidades que dependen de estos sistemas.

En última instancia, esta regionalización de la curva IDF potenciará una planificación urbana y rural más sostenible, alineada con las dinámicas ambientales y climáticas específicas de la cuenca del Río Puca.

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. EL AGUA EN LA ACTUALIDAD

Pocas presencias son tan fundamentales y significativas como la del agua, al ser tan cotidiana y obvia, incluso quienes son conscientes de ella tienden a darla por sentada sin comprender del todo las innumerables implicaciones que tiene.

El agua ocupa gran parte de la superficie del planeta, como se sabe un 2.5 % es dulce, aunque solo el 0.007% es aprovechable debido a que el 69% está congelada, alrededor del 30% se encuentra en acuíferos y el 0.3% en los ríos y arroyos (Fundación Aquae, 2022).

En el caso de los países del tercer mundo, cuenta con un porcentaje de vida mucho menor, por motivo de la insalubridad de esta.

Las enfermedades causadas por el agua se producen principalmente por dotaciones de agua insalubres, alimentos contaminados y vectores, pero también se pueden desarrollar de manera más directa como con inundaciones o sequías que pueden llevar a lesiones y desnutrición respectivamente.

En estos últimos años aún se cuenta con 2200 millones de personas que carecen de una dotación de agua a nivel y 4200 millones de personas sin servicios sanitarios correctamente gestionados (ONU, 2020).

Tabla 3. Enfermedades vinculadas a un saneamiento y una higiene deficiente

ENFERMEDADES	MUERTES
Enfermedades diarreicas	828.651
Infecciones helmínticas	6.248
Infecciones respiratorias agudas	370.370
Desnutrición	28.194
Esquistosomiasis	10.405
Subtotal agua potable, saneamiento e higiene	1.243.869
Malaria	354.924
Dengue	38.315
Subtotal gestión de los recursos hídricos	393.239
Ahogamientos	233.890
Subtotal seguridad de ambientes acuáticos	233.890
Total, de agua, saneamiento e higiene inadecuado	1.870.998

Fuente: (ONU, 2020)

2.2. LA HIDROLOGÍA

La hidrología es la ciencia que estudia el ciclo del agua, incluyendo su distribución, movimiento, y propiedades tanto en la superficie terrestre como en la atmósfera y el subsuelo.

Se ocupa de procesos clave como la precipitación, la evaporación, la infiltración y el escurrimiento, y su interacción con los ecosistemas y las actividades humanas. Esta disciplina es esencial para la gestión de recursos hídricos, la prevención de desastres naturales como inundaciones, y el diseño de infraestructuras hidráulicas (Ward y Robinson, 2000).

2.3. LA HIDROLOGÍA EN LA INGENIERIA CIVIL

La hidrología desempeña un papel crucial en la ingeniería civil, ya que se encarga del estudio del agua en sus diferentes estados, su distribución y circulación en la Tierra.

Su aplicación permite diseñar y construir infraestructuras hidráulicas como presas, canales, sistemas de drenaje, y plantas de tratamiento de agua. Además, ayuda en la gestión del recurso hídrico para el abastecimiento urbano, el control de inundaciones y la prevención de desastres naturales relacionados con el agua.

Los ingenieros civiles utilizan principios hidrológicos para evaluar el comportamiento de las cuencas hidrográficas, calcular caudales y diseñar estructuras que garanticen la seguridad y la sostenibilidad del desarrollo humano (Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill).

2.4. CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico, es un sistema cerrado sin principio ni fin, es en general el conjunto de fenómenos que cambia el agua de una fase a otra y la trasladan de un lugar a otro.

Como menciona Gutiérrez Caiza (2014), el ciclo hidrológico es una noción teórica que representa una versión idealizada de cómo se distribuye y circula generalmente el agua en la Tierra la cual resulta de suma utilidad al momento de querer entender de forma sencilla como trabaja el agua en todo nuestro planeta.

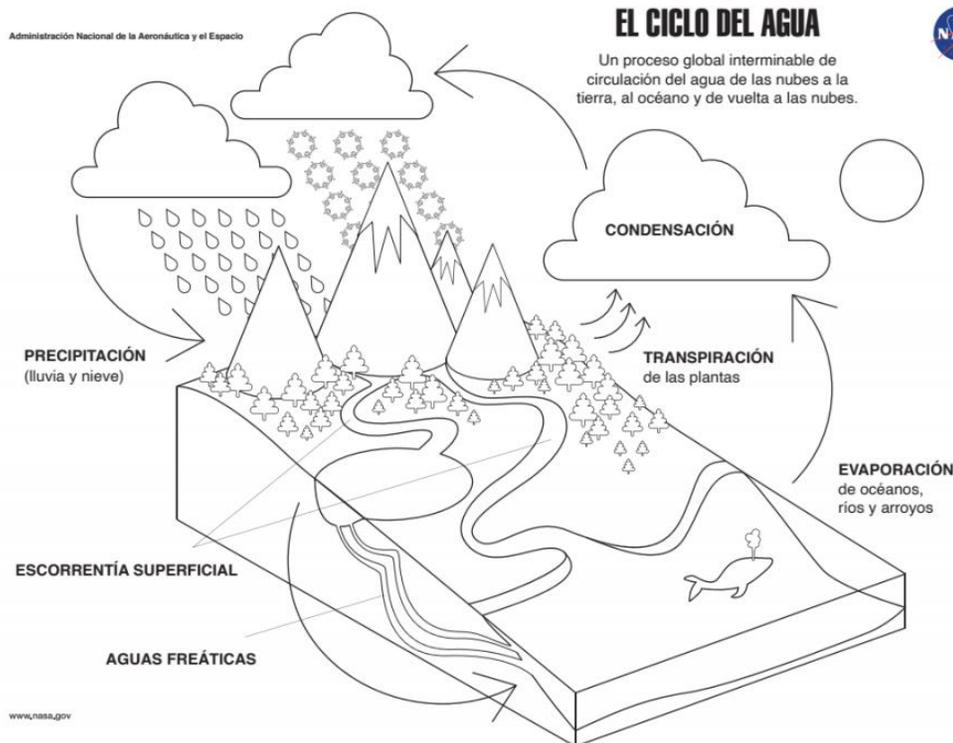


Ilustración 3. Esquema del ciclo Hidrológico del agua

Fuente: NASA

2.5. EVAPORACIÓN

Es el proceso físico mediante el cual el agua en estado líquido se transforma en vapor de agua, pasando a la atmósfera. Este fenómeno ocurre cuando las moléculas de agua ganan suficiente energía térmica para superar las fuerzas de cohesión y escapar hacia el aire.

La evaporación juega un papel fundamental en el ciclo hidrológico, ya que regula el intercambio de agua entre la superficie terrestre y la atmósfera, influenciado por factores como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar (Brutsaert, 1982).

2.6. CONDENSACIÓN

Es el proceso físico mediante el cual el vapor de agua presente en la atmósfera se transforma en agua líquida.

Este cambio de estado ocurre cuando el aire se enfría lo suficiente para que el vapor de agua alcance su punto de saturación, permitiendo la formación de gotas de agua.

La condensación es fundamental en el ciclo hidrológico, ya que da lugar a fenómenos como la formación de nubes, niebla y rocío, contribuyendo a la redistribución del agua en el planeta (Ahrens, 2015).

2.7. FILTRACIÓN

Es el proceso mediante el cual el agua se desplaza a través de los poros del suelo debido a la gravedad y a las fuerzas capilares. Es un fenómeno clave en el ciclo hidrológico, ya que permite la recarga de acuíferos y la distribución del agua hacia las capas más profundas del suelo.

La velocidad y magnitud de la filtración dependen de factores como la permeabilidad del suelo, la textura, el contenido de humedad inicial y el gradiente hidráulico (Hillel, 1998).

2.8. LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es el proceso mediante el cual el vapor de agua en la atmósfera se condensa y cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve, granizo o aguanieve.

Este fenómeno es parte esencial del ciclo hidrológico y desempeña un papel clave en la recarga de acuíferos, cuerpos de agua y en el suministro de agua para la agricultura y los ecosistemas (Ahrens, 2015).

2.9. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Se determina dividiendo la cantidad total de lluvia caída entre el tiempo en que ocurrió, y se expresa comúnmente en milímetros por hora (mm/h). Para identificar los valores más altos de intensidad, se examinan los registros de pluviógrafos durante diferentes intervalos de tiempo y se selecciona el valor máximo observado en cada periodo.

Si solo se dispone de registros pluviométricos, se pueden aplicar métodos estadísticos, probabilísticos y determinísticos para estimar los valores extremos de precipitación, los cuales son esenciales para el diseño de estructuras hidráulicas y para la evaluación de riesgos asociados con eventos de lluvia intensa (Chow, 1964).

2.10. ESTUDIO DE PRECIPITACIÓN

Después de obtener la información hidrológica mediante diversos instrumentos de medición, los datos recopilados deben organizarse y someterse a un proceso de análisis.

Los registros originales no coinciden directamente con los datos preparados para su aplicación, ya que las mediciones suelen estar influenciadas por errores que surgen debido a factores como las condiciones climáticas, las características del terreno, fallas en la observación o problemas con los dispositivos de medición, entre otros elementos (Campos, 1998).

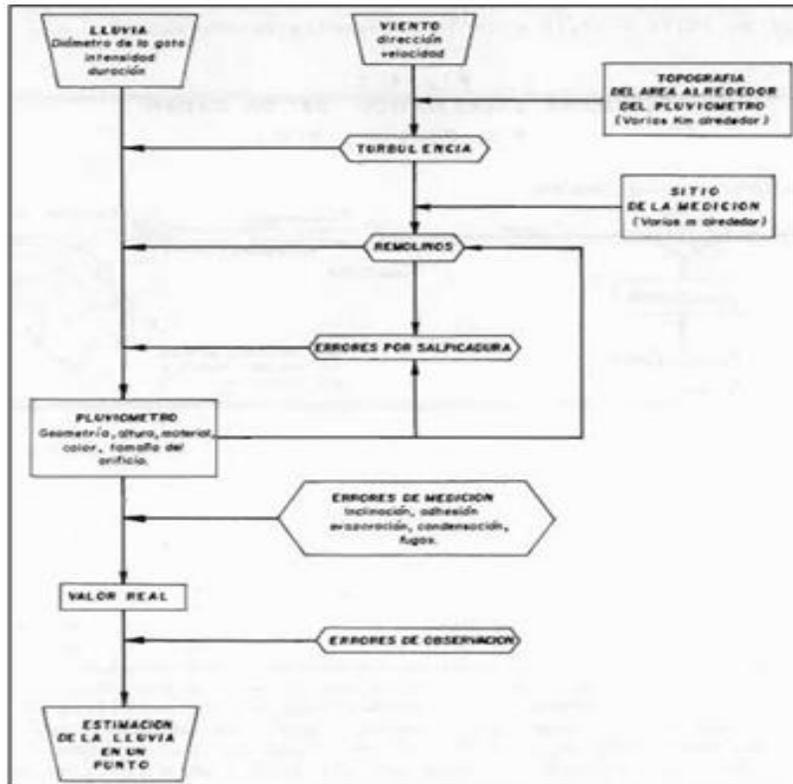


Ilustración 4. Modelo conceptual de procesos en la medición de lluvia

Fuente: (Campos, 1998)

2.11. REGISTRO DE DATOS

El llenado de datos en el contexto hidrológico implica la estimación o reposición de valores faltantes en los registros debido a interrupciones ocasionadas por errores humanos o fallos en las estaciones meteorológicas, lo que puede generar períodos prolongados sin datos, incluso durante años.

Para mitigar estas deficiencias, se emplean métodos estadísticos que permiten aproximar los valores faltantes usando datos históricos de la misma estación o información de estaciones cercanas.

Estos métodos se acompañan de pruebas que verifican la consistencia y homogeneidad de los datos, reduciendo así posibles errores en la estimación de los nuevos valores (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2020).

2.12. REVISIÓN DE CONSISTENCIA Y CONGRUENCIA DE DATOS

Es un procedimiento crucial para evaluar la calidad y precisión de las series de datos utilizados en estudios hidrológicos.

Una serie de datos se considera homogénea cuando las mediciones mantienen características coherentes a lo largo del tiempo, sin ser afectadas por factores externos. Sin embargo, esta homogeneidad puede verse comprometida por cambios físicos en la estación de monitoreo o modificaciones en su entorno, así como por variaciones climáticas que alteren las condiciones originales de medición, las principales causas de pérdida de homogeneidad en registros de precipitación incluyen el cambio de ubicación del equipo de medición, la sustitución del operador o variaciones en los métodos de observación, la exposición modificada del aparato, la construcción de embalses cercanos, la deforestación o reforestación, la expansión de cultivos y la industrialización.

Estas alteraciones introducen errores sistemáticos que se acumulan con el tiempo, afectando la calidad de los datos.

Para evaluar la homogeneidad, se aplican pruebas estadísticas que formulan una hipótesis nula, la cual es aceptada o rechazada según la probabilidad de ocurrencia de las variaciones detectadas en la serie temporal. Este enfoque permite garantizar que los datos utilizados reflejen exclusivamente los cambios naturales del fenómeno estudiado, minimizando distorsiones que puedan llevar a conclusiones erróneas (Campos Aranda, 1998).

2.13. PRUEBA T DE STUDENT

Es una herramienta estadística fundamental para evaluar si existen diferencias significativas entre las medias de dos conjuntos de datos, especialmente útil en estudios hidrológicos para analizar la homogeneidad de series temporales. Esta prueba se aplica cuando se sospecha que un cambio abrupto en la media podría indicar una pérdida de homogeneidad en la serie de datos. Según la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la prueba t es particularmente efectiva en estos casos, ya que permite detectar variaciones significativas en la media que podrían comprometer la integridad de los datos hidrológicos (UNAM, s.f.).

2.14. MÉTODOS PARA EL RELLENO DE DATOS

La complementación de datos en registros hidrológicos es un proceso crítico para asegurar la continuidad y la calidad de los estudios relacionados con el agua.

Cuando existen datos faltantes en estaciones de monitoreo de precipitación, se emplean diversas técnicas para su estimación, como la interpolación lineal, el método de medias ponderadas, el método de correlación con estaciones vecinas o modelos de regresión.

Estos procedimientos ayudan a llenar las lagunas de información que pueden surgir por fallos técnicos, cambios en el personal o interrupciones operativas en las estaciones.

La correcta aplicación de estas metodologías es esencial para mejorar la precisión de los análisis de cuencas hidrográficas y evitar sesgos que afecten las conclusiones de los estudios hidrológicos (Luna Romero, E., & Lavado Casimiro, W. (2015).

2.15. ESCORRENTÍA

Es el proceso hidrológico mediante el cual el agua proveniente de la precipitación fluye sobre la superficie terrestre debido a la saturación del suelo o a su incapacidad para infiltrar toda el agua recibida.

La escorrentía puede ser superficial (movimiento del agua sobre la superficie del suelo) o subsuperficial (movimiento a través de capas poco profundas del suelo), y desempeña un papel fundamental en el ciclo hidrológico y en la formación de cuerpos de agua como ríos y arroyos (Chow et al., 1988).

2.16. LA GEOMORFOMETRÍA

La geomorfometría es una disciplina que se enfoca en el análisis cuantitativo de las formas del relieve terrestre, utilizando métodos de medición y análisis espacial para entender las características morfológicas de la superficie terrestre y los procesos que las moldean (Pike, R. J., 2000).

2.17. CUENCA DE DRENAJE

Una cuenca de drenaje es un área geográfica delimitada por divisorias topográficas en la que todas las aguas provenientes de precipitaciones y otras fuentes convergen hacia un mismo curso de agua, como un río, arroyo, lago o embalse.

En otras palabras, es la región que capta y dirige el escurrimiento superficial hacia un punto específico, generalmente una salida natural y juega un papel fundamental en estudios hidrológicos, ya que permite analizar el comportamiento del agua en un área determinada, facilitando la planificación y gestión de recursos hídricos, así como la implementación de medidas de control de inundaciones y erosión (Ward & Robinson, 2000).

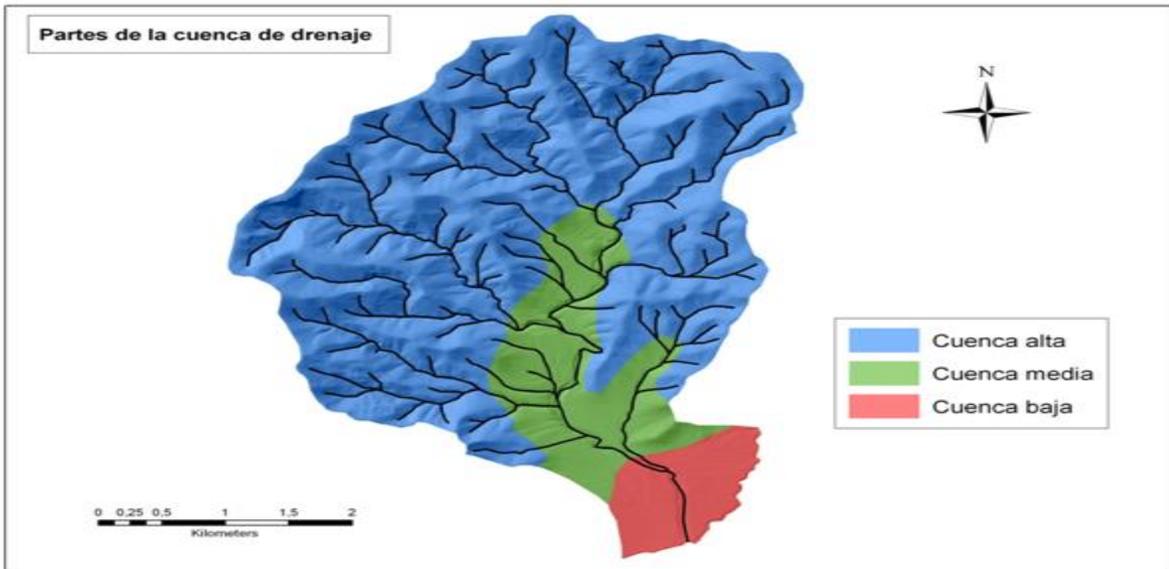


Ilustración 5. Partes de la cuenca de drenaje

Fuente: Cuatro Geógrafos y un Destino. (2013)

2.18. ISOYETA

La isoyeta, también conocida como isohieta, es una línea que conecta en un mapa los puntos que registran la misma cantidad de precipitación durante un determinado periodo de tiempo. De esta manera, para una región específica, es posible elaborar numerosos mapas con isoyetas, como las correspondientes a la precipitación media de un largo periodo para cada mes, como enero o febrero, o las que representan las precipitaciones acumuladas mensualmente (Wikipedia. (s. f.). Isoyeta).

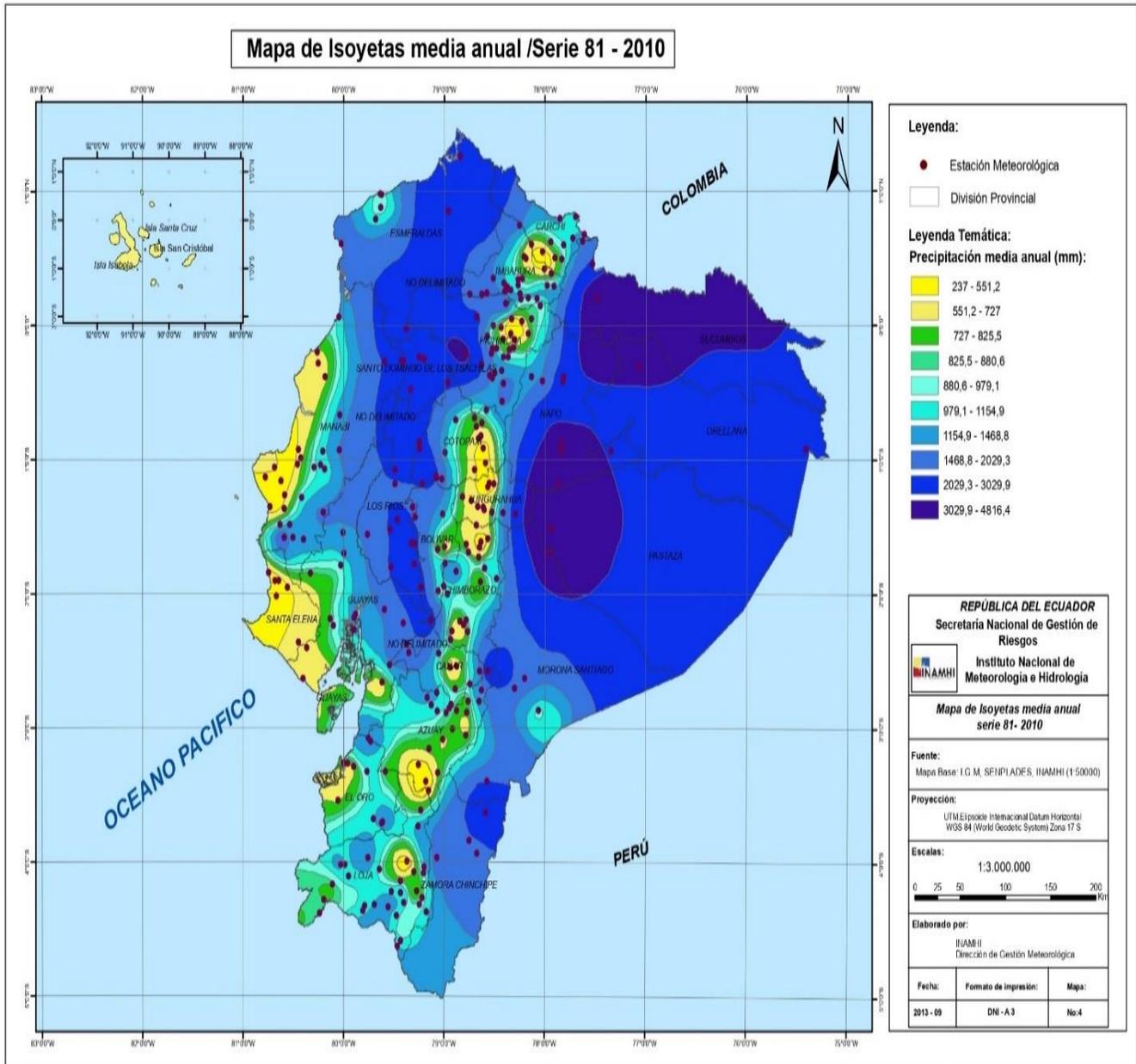


Ilustración 6. Mapa de isoyetas media anual 2010

Fuente: (INAMHI). (2010).

2.19. CURVA DE PLUVIOSIDAD

La isoyeta es una línea utilizada en meteorología que conecta en un mapa los puntos con igual nivel de precipitación media durante un periodo específico, como un año. Esta curva, una forma de isolínea, permite visualizar sobre un plano cartográfico las áreas con valores similares de pluviosidad para facilitar su análisis (Wikipedia. (s. f.). Isoyeta).

2.20. REGIONALIZACIÓN DE LA CURVA IDF

La regionalización de la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) es un método utilizado en el ámbito de la hidrología para analizar las características de las precipitaciones en diversas áreas geográficas, fundamentándose en registros históricos de lluvia.

Este procedimiento es esencial para el diseño y la gestión de infraestructuras hídricas, ya que facilita la estimación de la cantidad y la intensidad de las lluvias en relación con el tiempo y su frecuencia de ocurrencia. Por ejemplo, la curva IDF es útil para calcular la cantidad de agua que un sistema de drenaje puede recibir en un intervalo específico, lo que resulta fundamental para prevenir inundaciones y gestionar adecuadamente los recursos hídricos Becerra Oviedo, J. A., Sánchez Mazorca, L. F., Acosta Castellano, P. M., & Díaz Arévalo, J. L. (2023).

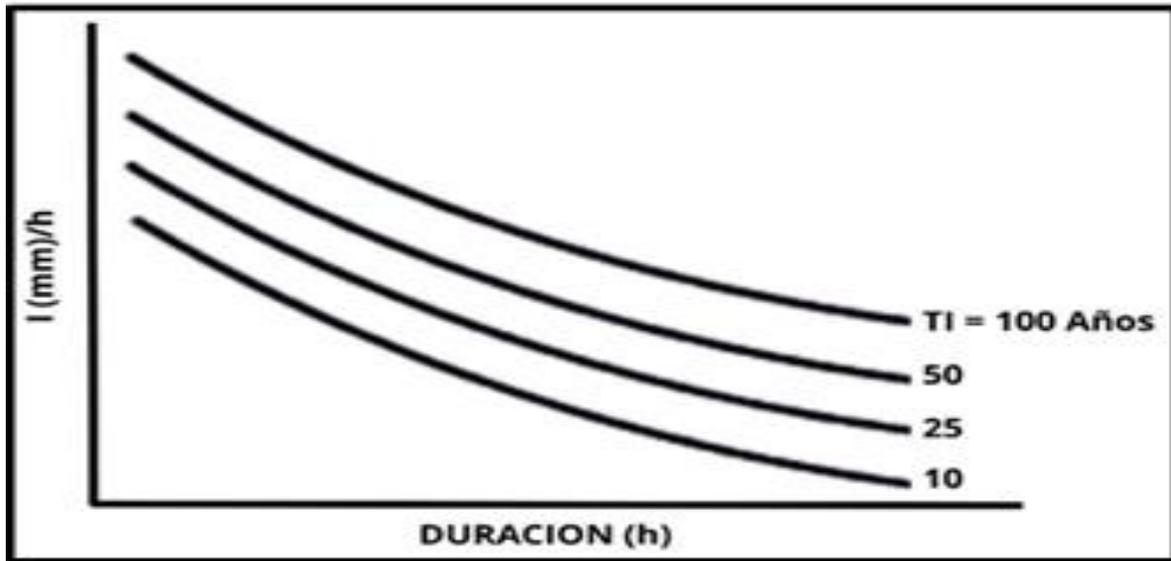


Ilustración 7. Representación de la curva IDF

Fuente: (Vélez Otálvaro, 2000)

2.21. ESTADÍSTICA

La estadística es la ciencia que estudia la recolección, organización, análisis e interpretación de datos con el objetivo de describir fenómenos y tomar decisiones informadas. Se aplica en diversas áreas del conocimiento para entender patrones, hacer predicciones y resolver problemas prácticos mediante el uso de métodos cuantitativos y probabilísticos (Triola, 2018).

2.22. MEDIA ARITMÉTICA

Es una medida de tendencia central que se obtiene al sumar todos los valores de un conjunto de datos y dividir el resultado entre la cantidad total de valores.

Representa el promedio de los datos y es una de las herramientas más utilizadas en estadística para resumir información cuantitativa de manera sencilla (Larson & Farber, 2015).

2.23. MÉTODO DE RELACIÓN NORMALIZADA

Es una técnica utilizada en hidrología para estimar valores de precipitación faltantes en estaciones con datos incompletos, a partir de la relación existente entre los valores promedio de esa estación y los datos de estaciones de referencia cercanas. Este método normaliza los valores de precipitación usando promedios históricos para garantizar que las diferencias entre estaciones sean ajustadas adecuadamente (Maidment, 1993).

2.24. MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL

Es un método estadístico utilizado para estudiar la relación entre dos variables cuantitativas y se modela a través de una línea recta que mejor representa la relación entre una variable dependiente (Y) y una variable independiente (X), con el objetivo de predecir valores o explicar tendencias observadas en los datos.

Este modelo asume que existe una relación lineal entre las variables y se ajusta minimizando el error entre los valores observados y los estimados (Montgomery, Peck, & Vining, 2012).

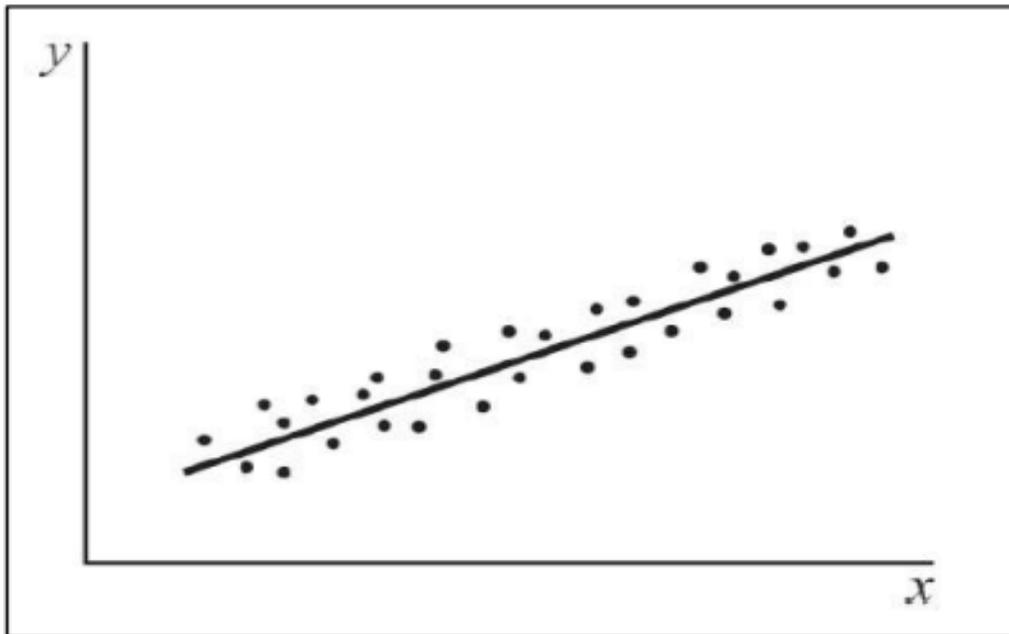


Ilustración 8. Diagrama de dispersión y línea de tendencia

Fuente: (Spiegel, Schiller, & Srinivasan, 2013)

2.25. TIEMPO DE DOMINIO

“Esto se refiere al análisis de la serie de datos hidrológicos respecto al tiempo. Un gráfico de dominio de tiempo muestra el cambio del proceso hidrológico en el tiempo, este se vale del uso de herramientas como la auto correlación cruzada” (Han, 2010).

2.26. SERIES DE TIEMPO ESPACIAL

Es una colección de datos con una referencia geográfica, por ejemplo, los datos de precipitaciones en una estación hidrometeorológica (Han, 2010).

2.27. PRUEBA DE BONDAD DEL AJUSTE SMIRNOV-KOLMOGOROV

Esta consiste en realizar una comparación, “entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo” (Villón, 2013, pp. 181–182).

2.28. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Muchos de los fenómenos estudiados en el ámbito de la ingeniería hidrológica pueden ser considerados como procesos probabilísticos. En estos casos, se utiliza una distribución de frecuencias para modelar el comportamiento de los fenómenos, sin importar la secuencia temporal de los datos, ya que lo esencial es la probabilidad de que ocurra un evento. Esto es fundamental para el análisis y estudio de estos fenómenos. Las distribuciones de probabilidad más frecuentemente empleadas en hidrología son:

- Distribución normal.
- Distribución logarítmico-normal.
- Distribución de valores extremos Tipo I o de Gumbel.

2.29. MÉTODO GUMBEL

Es una función de probabilidad usada para los valores máximos aleatorios sacados de poblaciones suficientemente grandes (Posso, 2009).

2.30. VALORES EXTREMOS

Son observaciones inusuales o atípicas que se encuentran en las colas de una distribución de probabilidad. Estos valores son de particular interés en áreas como la ingeniería, la hidrología y las ciencias ambientales, ya que pueden representar eventos de gran magnitud y bajo riesgo, como fenómenos climáticos extremos (huracanes, inundaciones, sequías) o fallos estructurales graves.

Los estudios de valores extremos se enfocan en modelar y predecir estos eventos raros pero significativos, utilizando distribuciones específicas, como la distribución de valores extremos Tipo I (Gumbel), que es adecuada para describir el comportamiento de los máximos o mínimos de una variable aleatoria.

2.31. PERÍODO DE RETORNO

Es un concepto utilizado para describir la frecuencia con la que se espera que ocurra un evento extremo, como una inundación, una tormenta o un terremoto. Se refiere al tiempo promedio que transcurre entre la ocurrencia de eventos de una magnitud determinada o mayor, y se expresa en términos de años.

Este concepto se utiliza en hidrología, ingeniería y meteorología para evaluar el riesgo asociado con fenómenos naturales extremos, ayudando en la planificación y diseño de infraestructuras y en la gestión de recursos. Por ejemplo, un evento con un período de retorno de 100 años tiene una probabilidad de ocurrir una vez cada 100 años, pero no implica que ocurra exactamente en ese lapso (Schreider, 2013).

2.32. FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PARA VALORES EXTREMOS

Son herramientas estadísticas que permiten modelar y predecir eventos raros pero significativos que ocurren en las colas de una distribución de datos.

Estas funciones son fundamentales para evaluar riesgos en fenómenos extremos, como inundaciones, tormentas o fallas estructurales.

La teoría de valores extremos describe que las distribuciones de probabilidad más utilizadas para estos análisis son la distribución de Gumbel, Fréchet y Weibull, dependiendo del comportamiento de los datos observados (Coles, 2001).

2.33. DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXTREMOS TIPO GUMBEL

La distribución de valores extremos Tipo I, también conocida como distribución de Gumbel, es una función de probabilidad utilizada para modelar eventos extremos, como los máximos o mínimos de una serie de datos.

Esta distribución es ampliamente aplicada en hidrología, ingeniería y meteorología para analizar fenómenos como precipitaciones extremas, caudales máximos de ríos e intensidades de vientos.

La distribución de Gumbel permite estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos raros y evaluar su período de retorno, lo que es esencial para la planificación y el diseño de infraestructura resistente a eventos extremos (Gumbel, 1958).

2.34. LÍMITE MÁXIMO DE PRECIPITACIÓN ESTIMADA

Es el valor hidrológico que establece el límite superior físico de la cantidad de precipitación que puede ocurrir durante un período de tiempo determinado, y es utilizado como base para los estudios y el diseño de estructuras hidráulicas.

Este dato es esencial para garantizar la seguridad y efectividad de obras como presas y embalses, ya que permite dimensionarlas para soportar fenómenos meteorológicos extremos y evitar riesgos de inundaciones (WMO, 2009).

2.35. ESTACIONES METEREOLÓGICAS

Las estaciones meteorológicas, también conocidas como la red nacional de observación hidrometeorológica, son dispositivos que permiten la medición y registro de condiciones atmosféricas, como temperatura, humedad, precipitación y presión atmosférica, siendo esenciales para el monitoreo del clima y la elaboración de pronósticos meteorológicos, así como para la recolección de datos hidrológicos y climatológicos en todo el país mediante estaciones manuales y automatizadas (Lutgens & Tarbuck, 2016).

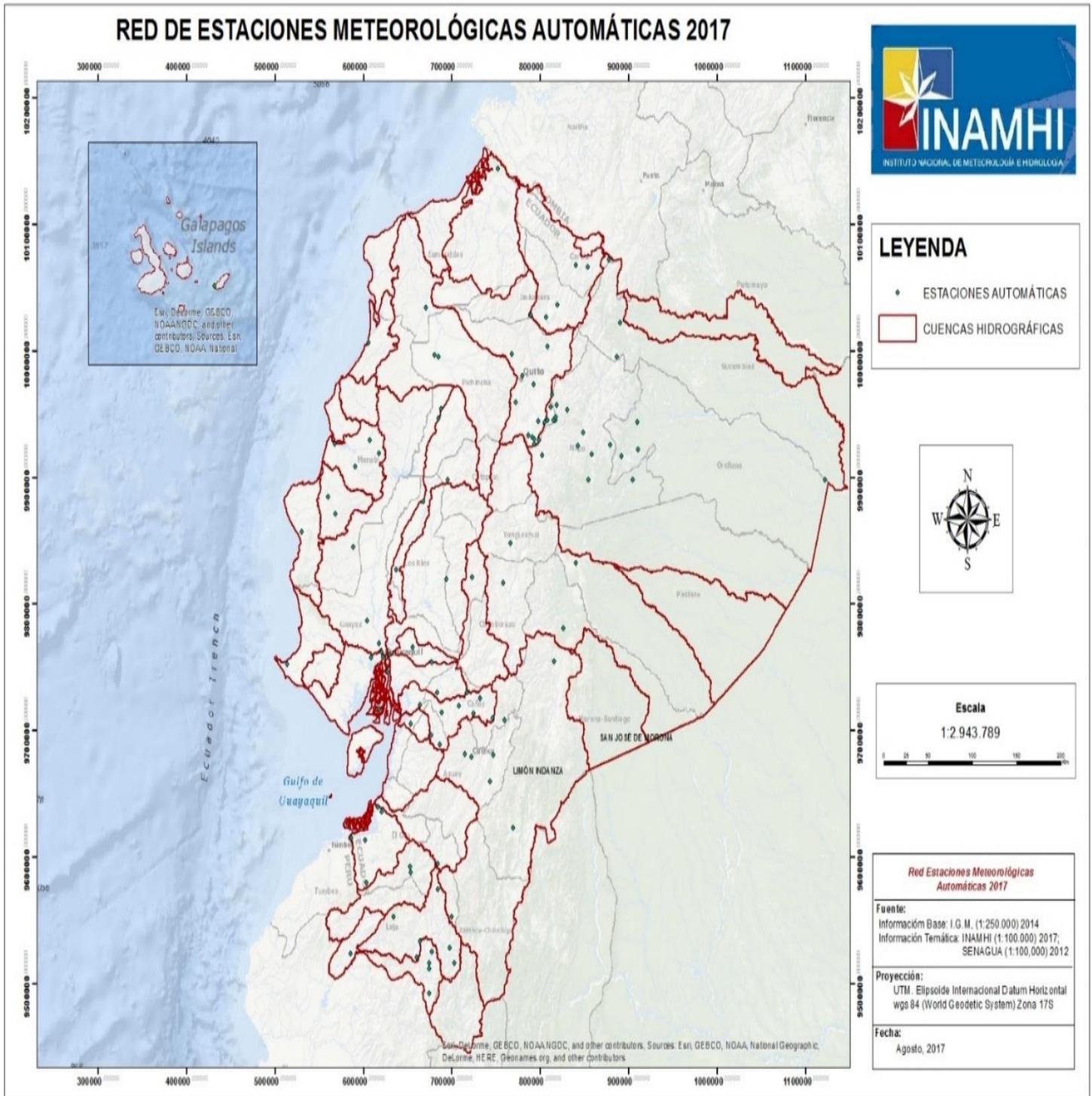


Ilustración 9. Mapa de la red de estaciones meteorológicas automáticas 2017

Fuente: (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017)

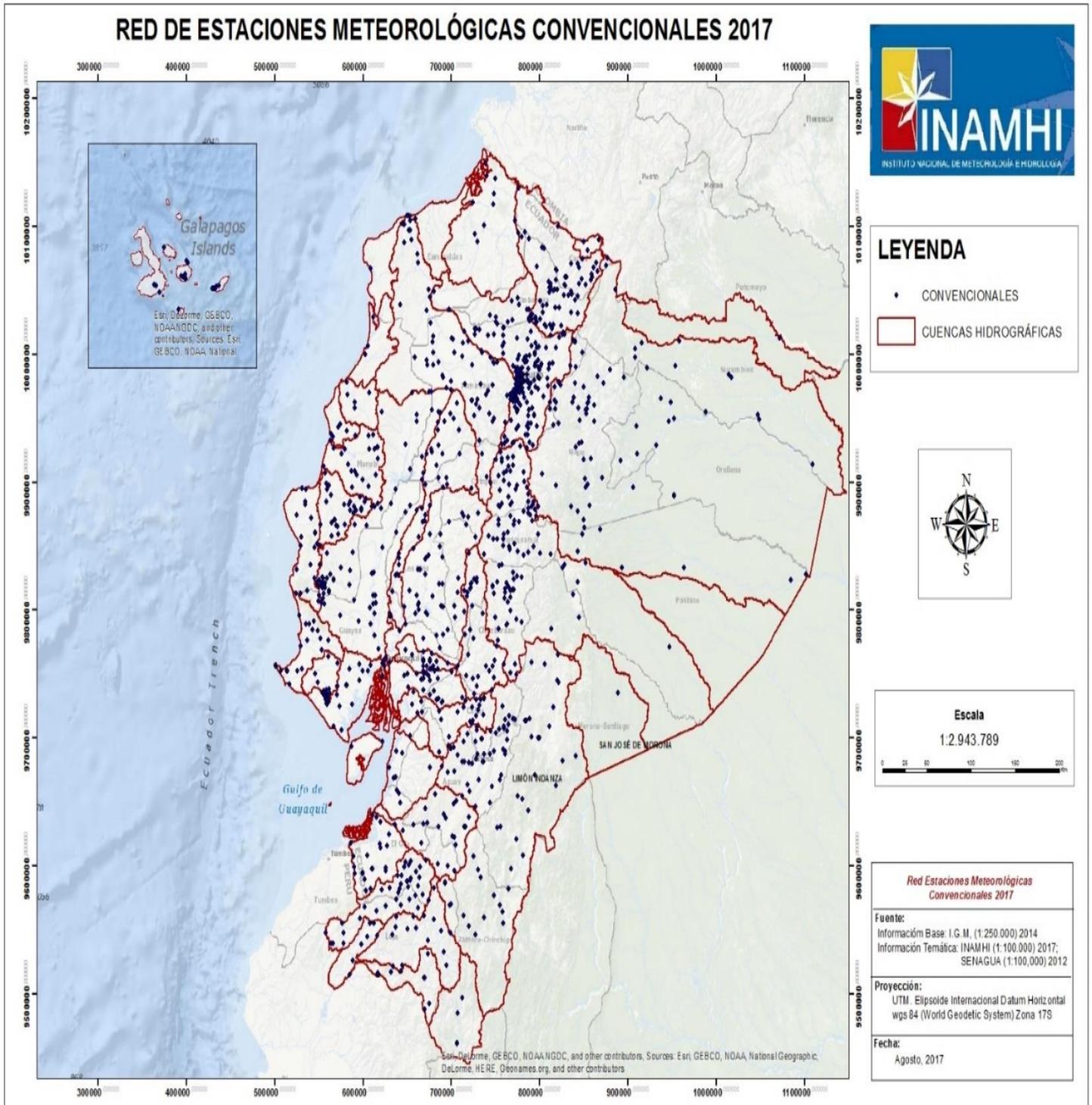


Ilustración 10. Mapa de la red de estaciones meteorológicas convencionales 2017

Fuente: (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017)

2.36. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN UNA ESTACIÓN METEREOLÓGICAS

Una estación meteorológica es un lugar cuidadosamente elegido para albergar los numerosos instrumentos que permiten medir los diversos factores que afectan al estado de la atmósfera.

En otras palabras, es un lugar donde se ve fenómenos atmosféricos y donde los instrumentos pueden medir las variables.

Los instrumentos de medición normalmente utilizados.

Termómetro: Un termómetro, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), es un instrumento utilizado para medir la temperatura del aire o de otros fluidos.

Los termómetros pueden ser de diferentes tipos, como el de mercurio, el de alcohol, o digitales, y su funcionamiento se basa en la expansión o contracción de un líquido, la resistencia eléctrica, o cambios en la frecuencia de oscilación de un cristal (INAMHI) (2013).

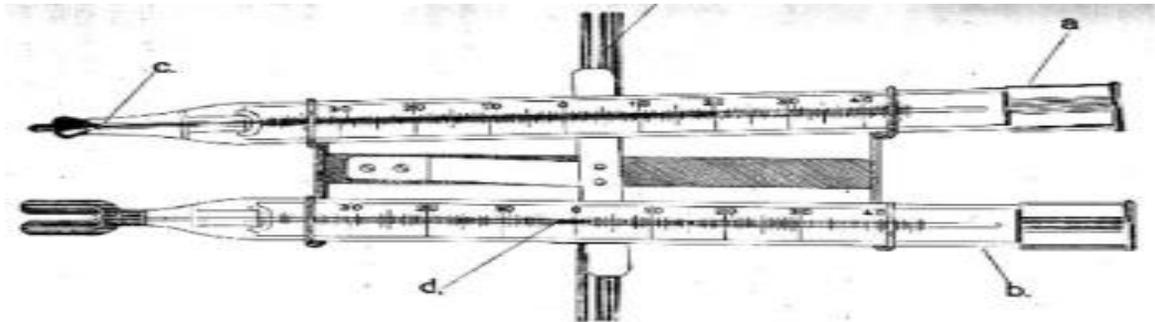


Ilustración 11. Termómetro

Fuente: (INAMHI) (2013)

Higrómetro: Un higrómetro, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), es un instrumento utilizado para medir la humedad relativa del aire.

La humedad relativa se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire en comparación con la cantidad máxima que el aire puede contener a una temperatura determinada (INAMHI) (2013).



Ilustración 12. Higrómetro

Fuente: (INAMHI) (2013)

Pluviómetro: Un pluviómetro es un instrumento esencial en meteorología, hidrología y estudios climáticos que mide la cantidad de precipitación en un área específica durante un período determinado, y según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, funciona mediante una superficie receptora de doscientos centímetros cuadrados, suponiendo que la precipitación se distribuye uniformemente sobre una superficie horizontal impermeable y no está sujeta a evaporación (INAMHI) (2013).



Ilustración 13. Pluviómetro

Fuente: (INAMHI) (2013)

Pluviógrafo: Un pluviógrafo, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), es un instrumento utilizado para medir y registrar la cantidad de precipitación que cae en un área específica a lo largo del tiempo.

Este dispositivo no solo mide la cantidad total de lluvia caída, sino que también proporciona un registro continuo, permitiendo observar la variación de la intensidad de la precipitación durante un periodo determinado (INAMHI) (2013).



Ilustración 14. Pluviógrafo

Fuente: (INAMHI) (2013)

2.37. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI)

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) es una entidad gubernamental de Ecuador encargada de la investigación, monitoreo y difusión de información meteorológica, climatológica e hidrológica en el país.

Su principal objetivo es proporcionar datos y análisis que contribuyan a la prevención de desastres naturales, la gestión de recursos hídricos y el desarrollo sostenible del país.

2.38. IMPORTANCIA DEL INAHMI

El INAMHI es crucial para el desarrollo de políticas públicas relacionadas con la gestión del agua y el cambio climático, y su labor contribuye a la seguridad y bienestar de la población ecuatoriana, especialmente en la prevención y mitigación de desastres naturales, como inundaciones y sequías.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3. HERRAMIENTAS A UTILIZAR

3.1. MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recopilarán datos de precipitaciones históricas y otras variables climáticas necesarias para el análisis.

La data tratada y recolectada en primera instancia será tabulada mediante Microsoft Excel, el cual también será utilizado para los diferentes análisis estadísticos aplicados al desarrollo de las curvas IDF.

Posteriormente, se utilizará el software Hydrognomon, el cual facilitará el procesamiento avanzado de series temporales y el análisis estadístico de datos climáticos.

Para finalizar, se empleará el software ArcGIS, que cuenta con las herramientas necesarias para realizar las interpolaciones espaciales y representar visualmente los resultados del análisis.

3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación seguirá un enfoque cuantitativo y descriptivo-experimental, ya que se basará en la recopilación y análisis de datos meteorológicos (precipitaciones) para generar curvas IDF y regionalizarlas a través de métodos estadísticos y geoespaciales como el kriging y el Inverse Distance Weighting (IDW).

El estudio será longitudinal, ya que analizará series temporales de datos históricos de precipitación extrema para crear un modelo ajustado a las condiciones climáticas específicas de la región del Río Puca.

3.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

El área de estudio se centrará en la región costera del Río Puca, de las cuales se recolectará la información máxima de 24 horas obtenida de estaciones meteorológicas más cercanas.

Estos datos corresponden a los periodos desde 1990-2013 pertenecientes a la data pública que están disponibles en la presente fecha, facilitada en los anuarios del Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología (INAMHI).

3.4. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

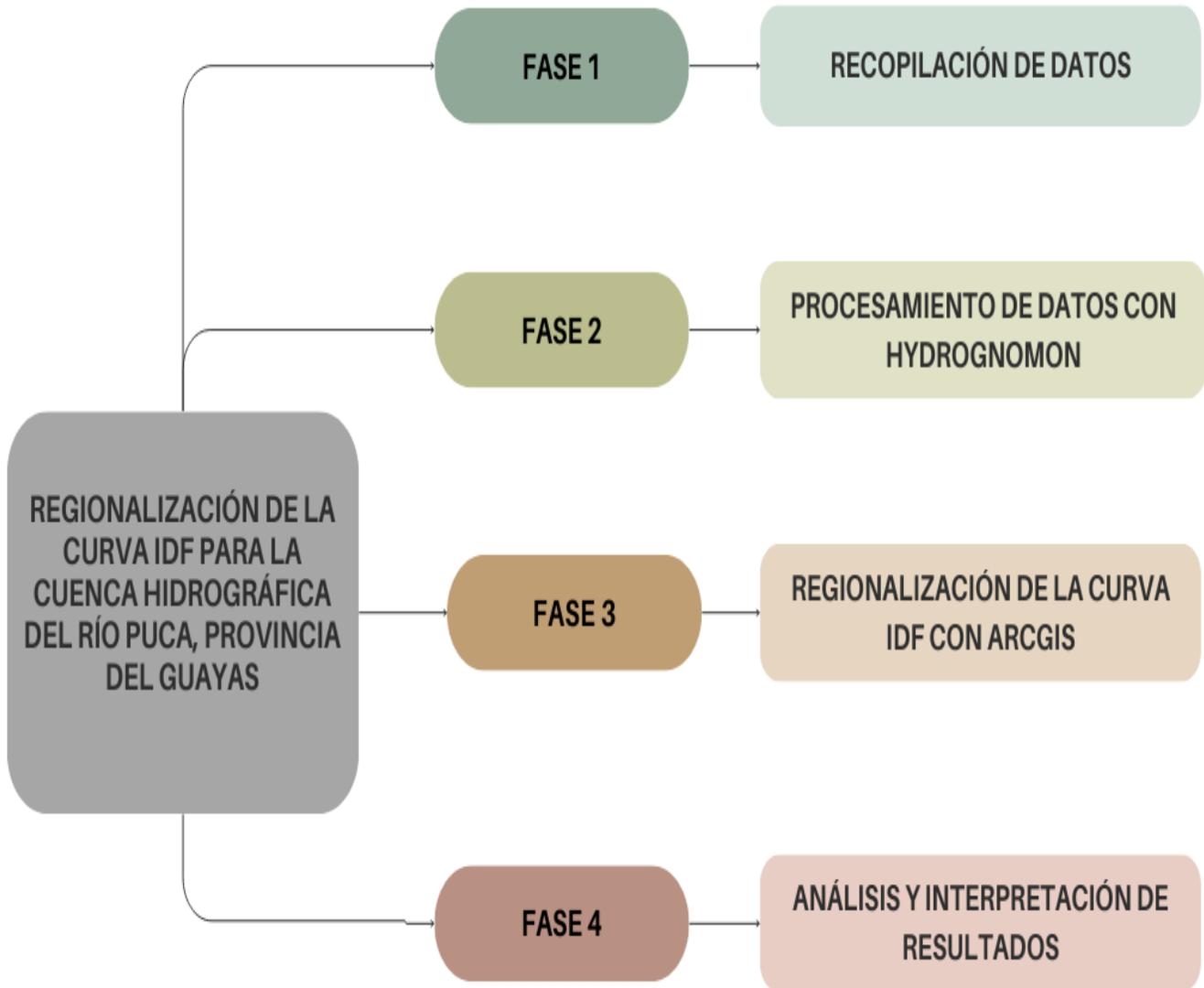


Ilustración 15. Plan de procesamiento y análisis de datos

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

3.4.1. FASE 1: RECOPIACIÓN DE DATOS

La fase inicial del plan consiste en obtener datos históricos de precipitaciones y otras variables climáticas (como temperatura, humedad, etc.), fundamentales para realizar los estudios hidrológicos.

Los datos de precipitación se obtendrán principalmente del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que proporciona registros pluviométricos oficiales y confiables. Además, se explorarán otras fuentes secundarias disponibles que complementen los datos.

Para asegurar la representatividad de los datos, se seleccionarán estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca del Río Puca, que cuenten con registros completos y un historial de mediciones suficientemente largo para que los análisis sean estadísticamente significativos. Esto permitirá construir una base de datos sólida para el análisis posterior.

3.4.2. FASE 2: PROCESAMIENTO DE DATOS CON HYDROGNOMON

La siguiente fase es el procesamiento de los datos mediante el uso del software especializado Hydrognomon, que es una herramienta ampliamente utilizada para el análisis de datos hidrológicos.

En esta fase, se realizarán diversos análisis estadísticos avanzados sobre las series temporales de precipitación recopiladas:

- **Análisis de tendencias:** Se detectarán tendencias a largo plazo en los datos históricos de precipitación, como posibles aumentos o disminuciones en la frecuencia de eventos extremos a lo largo del tiempo.

- Análisis de frecuencia y cálculo de períodos de retorno: Este análisis es esencial para calcular los períodos de retorno de lluvias extremas, es decir, la probabilidad de que eventos de precipitación de ciertas intensidades ocurran en un intervalo de tiempo determinado (por ejemplo, lluvias de 100 años).
- Generación de curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia): A partir de los datos de precipitación, se generarán las curvas IDF, que son esenciales para comprender cómo varía la intensidad de la lluvia en función de la duración del evento.

3.4.3. FASE 3: REGIONALIZACIÓN DE LA CURVA IDF CON ARCGIS

Una vez obtenidos los resultados preliminares de las curvas IDF, se utilizará el software ArcGIS para realizar la regionalización de la información a través de un análisis espacial. Esta fase es clave para extender los datos obtenidos de puntos específicos a toda la cuenca, asegurando una visión completa de la distribución espacial de las precipitaciones extremas.

Los pasos incluyen la importación de los valores de precipitación en diferentes ubicaciones de la cuenca del Río Puca, y la aplicación de técnicas de interpolación espacial avanzadas como Kriging e IDW (Inverse Distance Weighting), que permiten estimar de manera confiable la distribución de precipitaciones en áreas no muestreadas.

A partir de estos datos, se generarán mapas temáticos en ArcGIS que ilustrarán la variabilidad espacial de las precipitaciones y las curvas IDF regionalizadas, facilitando la toma de decisiones para el diseño y planificación de infraestructuras hidráulicas en la región.

3.4.4. FASE 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La fase final del plan se centra en un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos. En esta etapa, se examinan las curvas IDF generadas y los mapas temáticos para identificar patrones espaciales y temporales de las precipitaciones extremas en la cuenca del Río Puca.

Este análisis es esencial para validar la precisión de las curvas IDF mediante la comparación con datos históricos de precipitaciones, y para evaluar su aplicabilidad en el diseño de infraestructuras hidráulicas como presas, canales y sistemas de drenaje, garantizando su capacidad para manejar eventos extremos y mitigar el riesgo de inundaciones. Además, se realiza un análisis crítico sobre el impacto de las herramientas utilizadas, como Hydrognomon y ArcGIS, en la precisión de los resultados, lo que permitirá determinar si es necesario ajustar los métodos empleados.

Los hallazgos de este análisis proporcionarán información clave para la gestión del agua, el diseño adecuado de infraestructuras y la gestión de riesgos climáticos en la región.

3.5. SOFTWARE DE PROCESAMIENTO HIDROLÓGICO HYDROGNOMON.

Software especializado en hidrología para el procesamiento y análisis de datos hidrometeorológicos. Se utiliza principalmente para manejar series temporales de datos relacionados con precipitaciones, caudales, niveles de agua, temperatura, evaporación y otros parámetros hidrológicos. Hydrognomon fue desarrollado por el Instituto Griego de Recursos Hídricos y es ampliamente utilizado en la gestión de recursos hídricos (Instituto Griego de Recursos Hídricos. (2019).

3.5.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA PARA EL ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS

El proceso comienza con la creación de un nuevo proyecto, lo cual implica definir los parámetros iniciales que se ajusten a las necesidades del análisis. En este caso, se seleccionaron parámetros específicos para ajustar la hoja de cálculo correspondiente a las precipitaciones máximas anuales.

Estos pasos incluyen:

1. Identificación de los datos requeridos: Se recopilan las precipitaciones máximas anuales de diferentes estaciones meteorológicas.
2. Definición de los criterios de ajuste: Se seleccionan las métricas clave, como valores máximos, promedios, y otros factores relevantes.
3. Personalización del formato: Configuración de las columnas, etiquetas y unidades en la hoja de cálculo para facilitar el análisis y presentación de resultados.

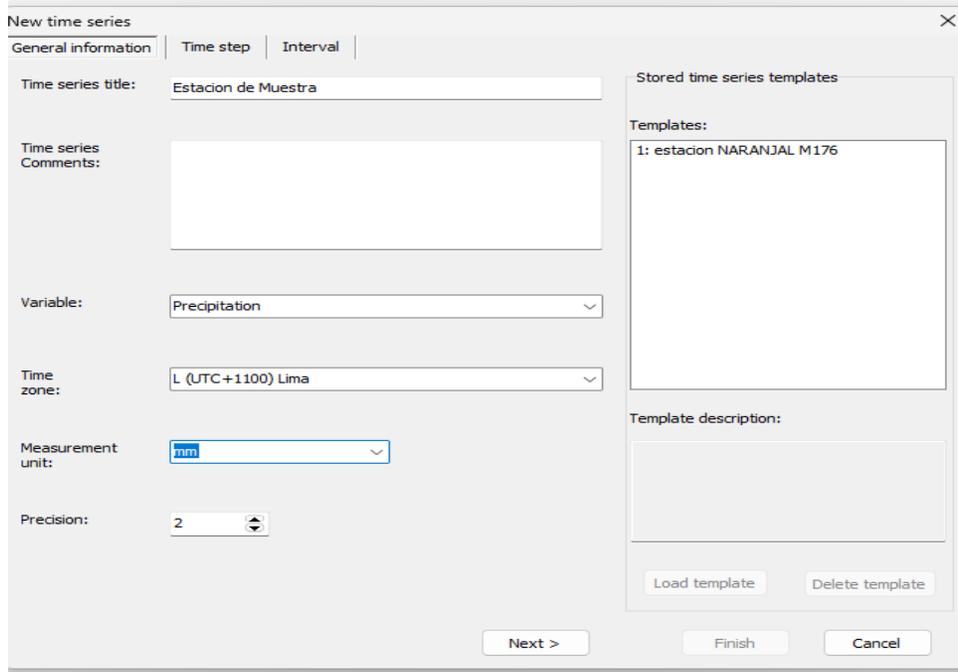


Ilustración 16. Información general - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

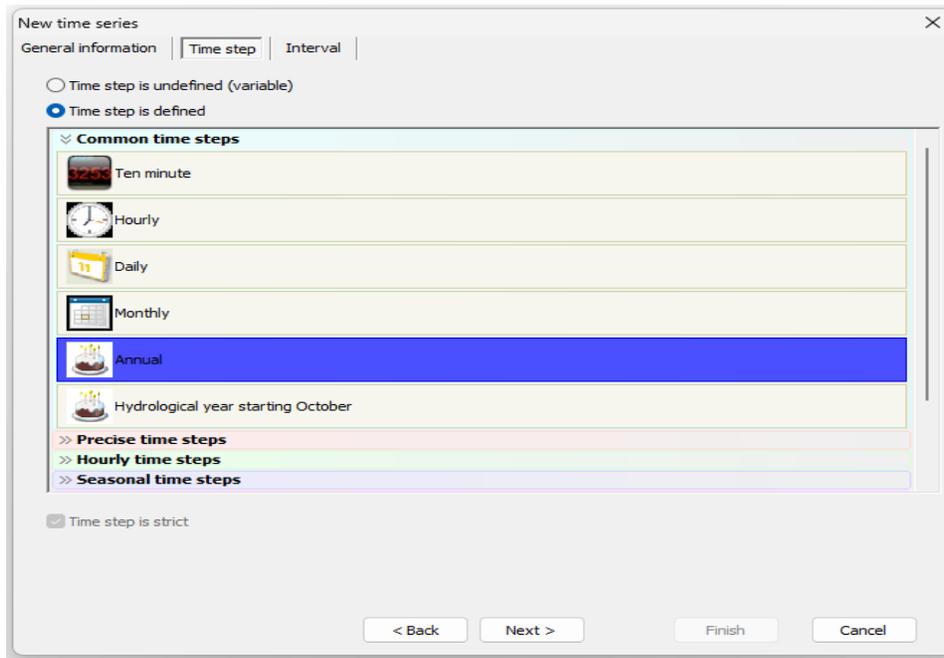


Ilustración 17. Información general - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

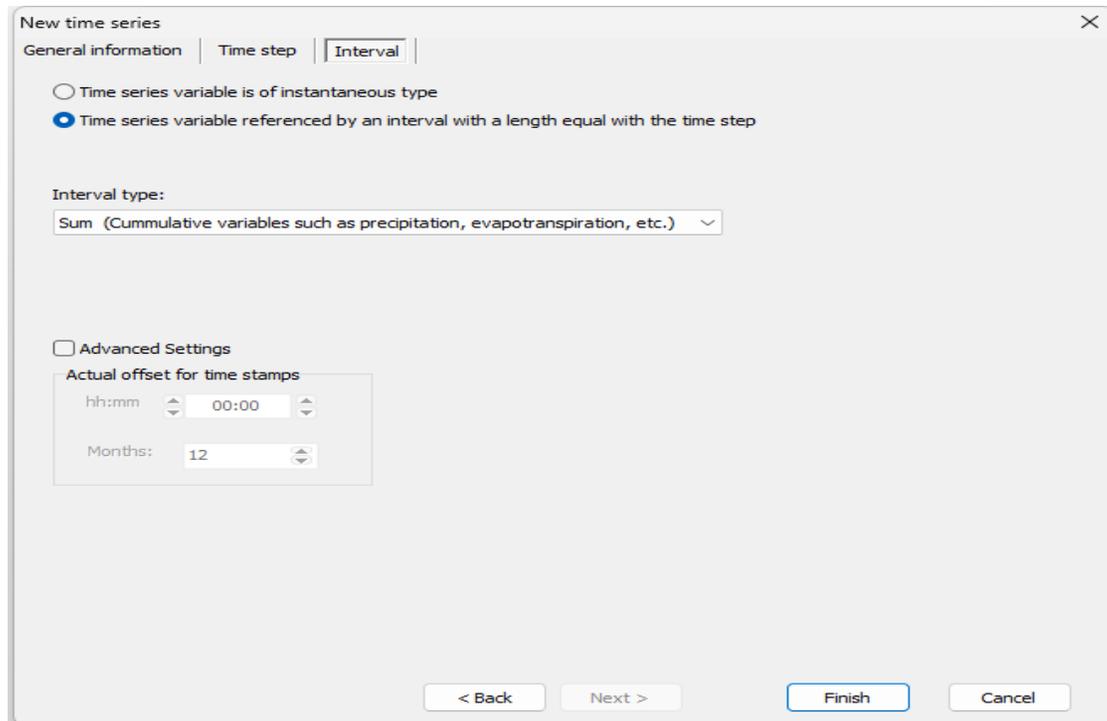


Ilustración 18. Configuración del intervalo de tiempo - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

3.5.2. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN EL HYDROGNOMON

La información filtrada se ingresará al programa de la siguiente manera: se inicia un nuevo registro (Edit>>Insert record) y se especifica el año inicial de la serie.

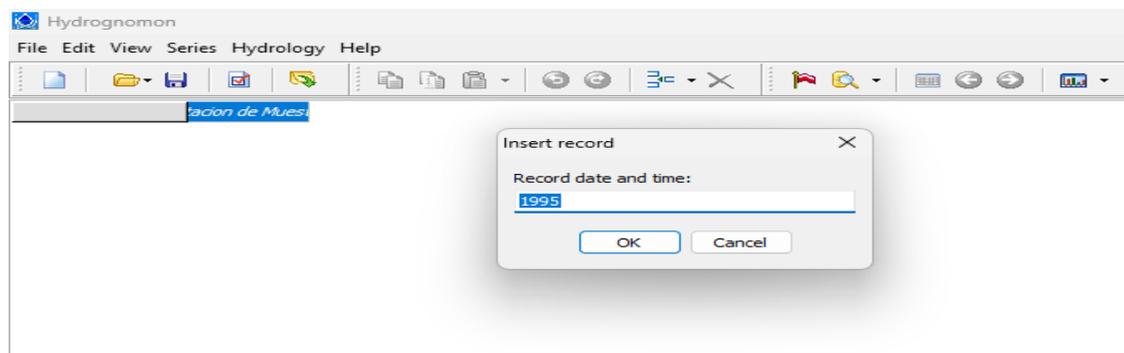


Ilustración 19. Ingreso del año inicial de la serie de tiempo, estación m166 - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Se ingresan los datos restantes de la serie de tiempo utilizando la opción "Insert multi record" en el menú "Edit". Esto permite introducir múltiples años de datos de forma continua.

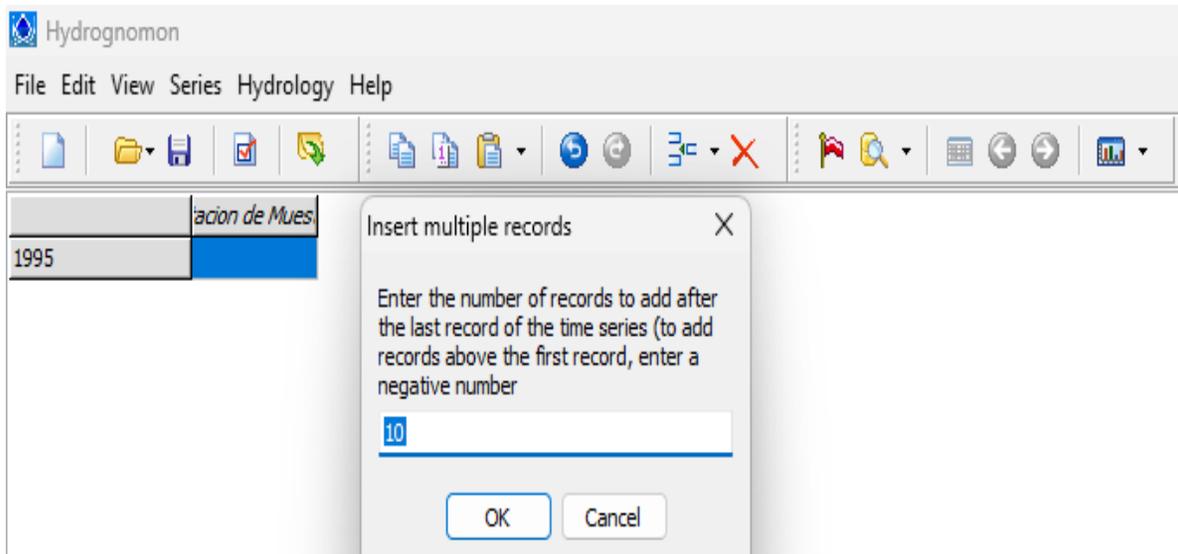
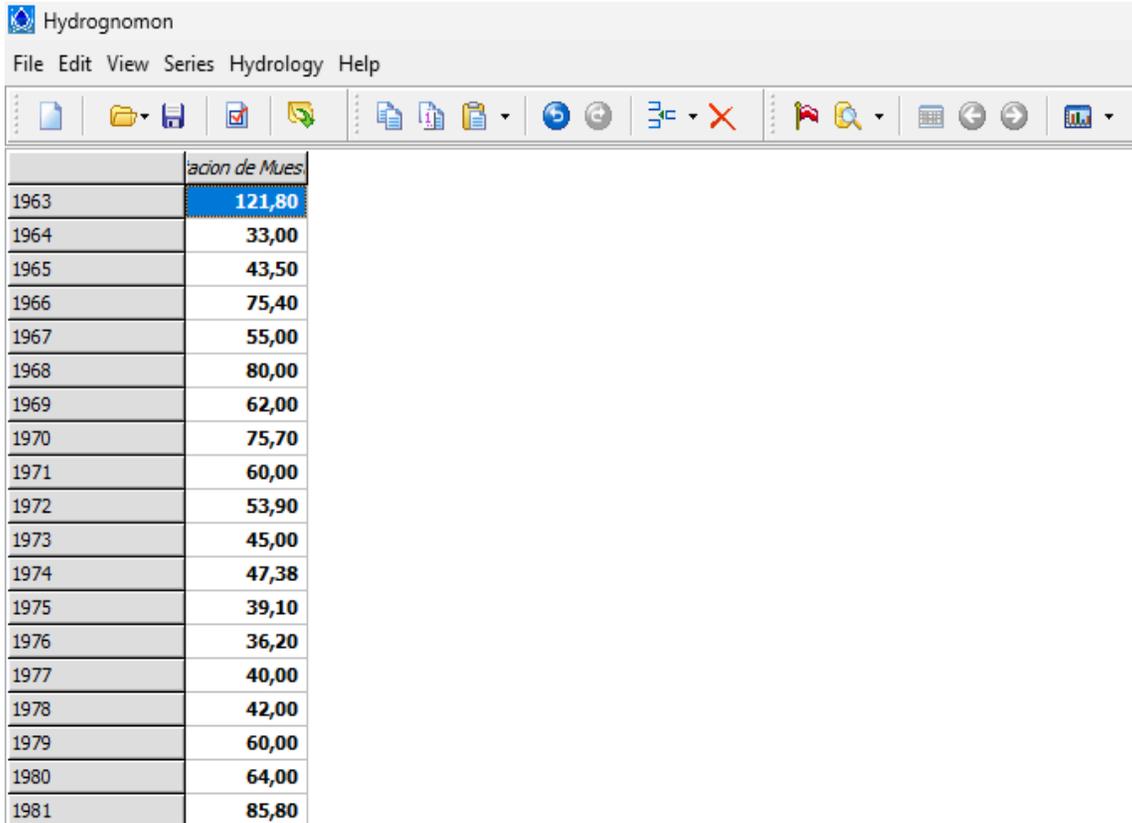


Ilustración 20. Introducción de número de años consecutivos de los datos - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Antes de comenzar el análisis, es necesario cargar los datos de precipitación máxima mensual en el software Hydrognomon.

Es crucial revisar cuidadosamente la información ingresada para detectar y corregir posibles errores o inconsistencias.



The screenshot shows the Hydrognomon software interface. The title bar reads 'Hydrognomon'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'View', 'Series', 'Hydrology', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations, data entry, and navigation. Below the toolbar is a data table with the following content:

	acion de Mues
1963	121,80
1964	33,00
1965	43,50
1966	75,40
1967	55,00
1968	80,00
1969	62,00
1970	75,70
1971	60,00
1972	53,90
1973	45,00
1974	47,38
1975	39,10
1976	36,20
1977	40,00
1978	42,00
1979	60,00
1980	64,00
1981	85,80

Ilustración 21. Datos de precipitación de la estación m166 ingresados - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Una vez ingresados los datos, accede a la función "análisis de frecuencia". El programa ajustará automáticamente varios modelos de distribución probabilística a los datos y generará gráficos que permitirán comparar visualmente la calidad de cada ajuste.

De esta forma, podrás seleccionar la distribución que mejor represente el comportamiento de los datos.

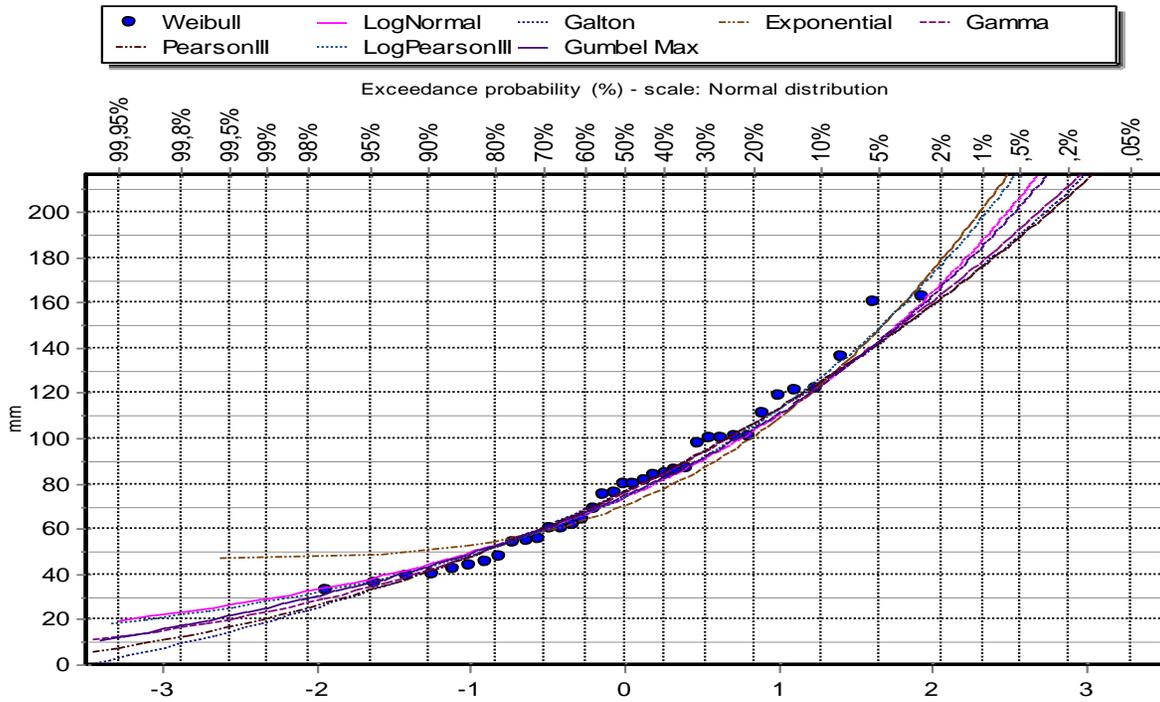


Ilustración 22. Gráfico de probabilidad - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Para confirmar la adecuación de la distribución seleccionada, se lleva a cabo una prueba de bondad de ajuste.

Esta prueba comparará la distribución empírica de los datos, es decir, la distribución observada en la muestra, con la distribución teórica seleccionada.

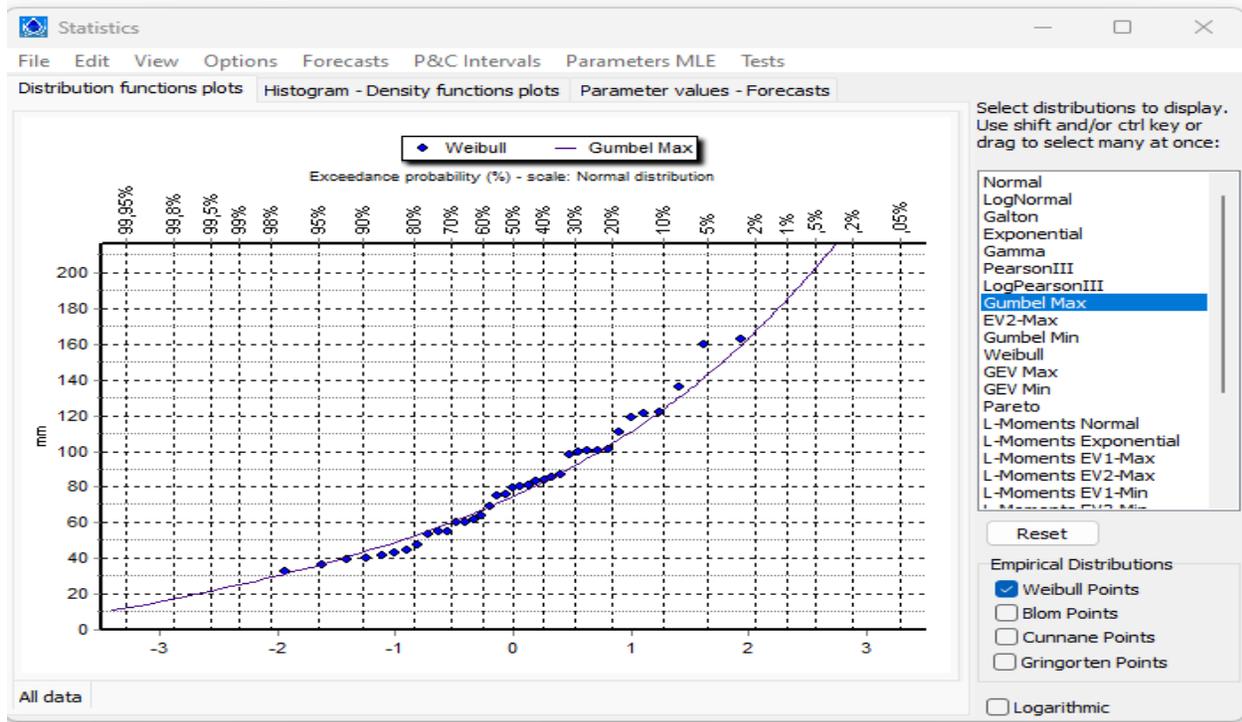


Ilustración 23. Gráfico de probabilidad utilizando la distribución GUMBEL MAX - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Para validar la distribución seleccionada, se realiza una prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esta prueba compara los datos con la distribución teórica.

A través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, Hydrognomon evalúa y compara el ajuste de diferentes distribuciones a los datos de cada estación.

Los resultados obtenidos indican que la distribución Gamma es la que mejor representa el comportamiento de los datos en la mayoría de las estaciones analizadas.

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	95,0213%	0,08110
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	95,1927%	0,08074
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	96,3119%	0,07814
Galton	ACCEPT	ACCEPT	99,9360%	0,05566
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	11,4281%	0,19239
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	47,5998%	0,13432
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	99,9341%	0,05576

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once:

- Normal
- LogNormal
- Galton
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- Gumbel Max

Ilustración 24. Resultados de la prueba de bondad para la estación - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

3.5.3. DETERMINACIÓN DE LOS PERÍODOS DE RETORNO

Tras determinar la distribución de probabilidad más adecuada, Hydrognomon calcula de manera automática los valores de precipitación correspondientes a diferentes períodos de retorno.

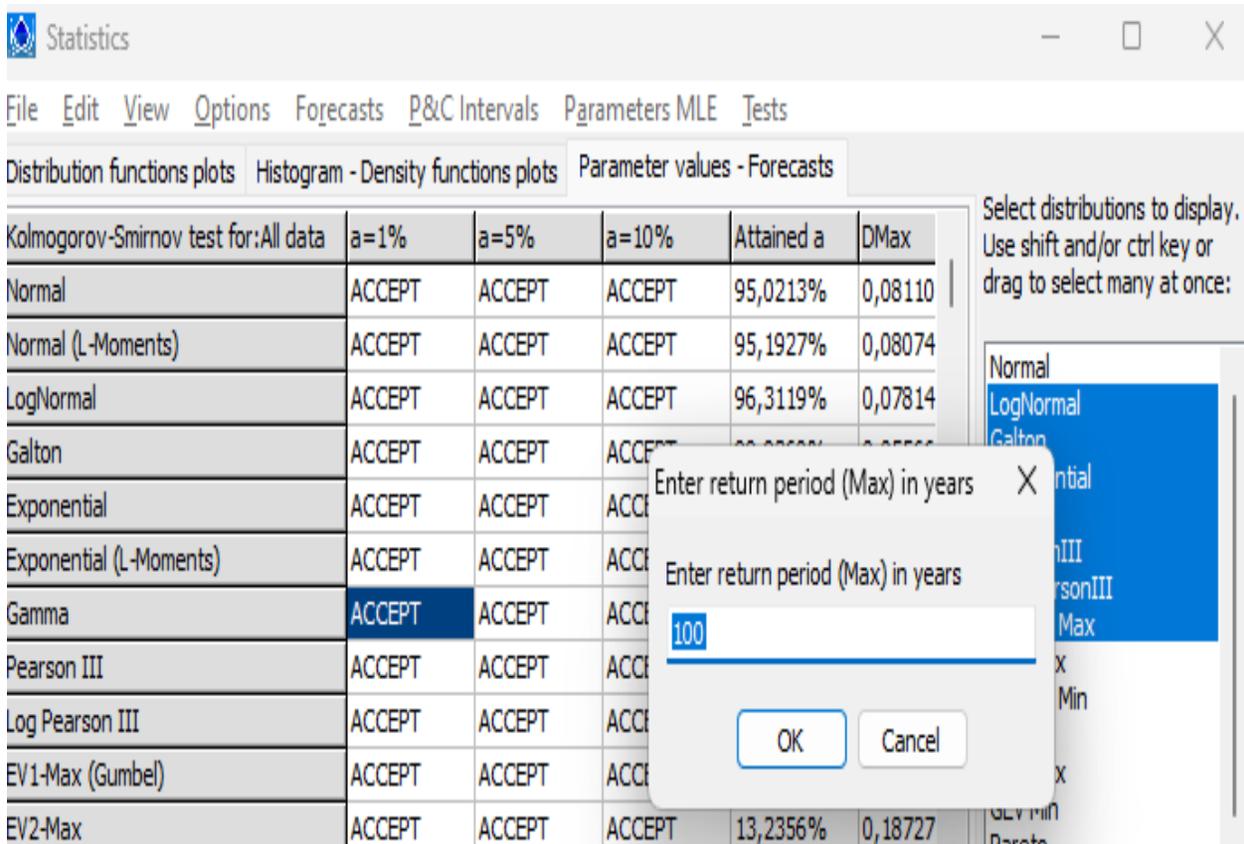


Ilustración 25. Selección de periodo de retorno - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Estos períodos se establecen previamente en el módulo de análisis de frecuencia, donde el usuario puede ingresar los valores deseados.

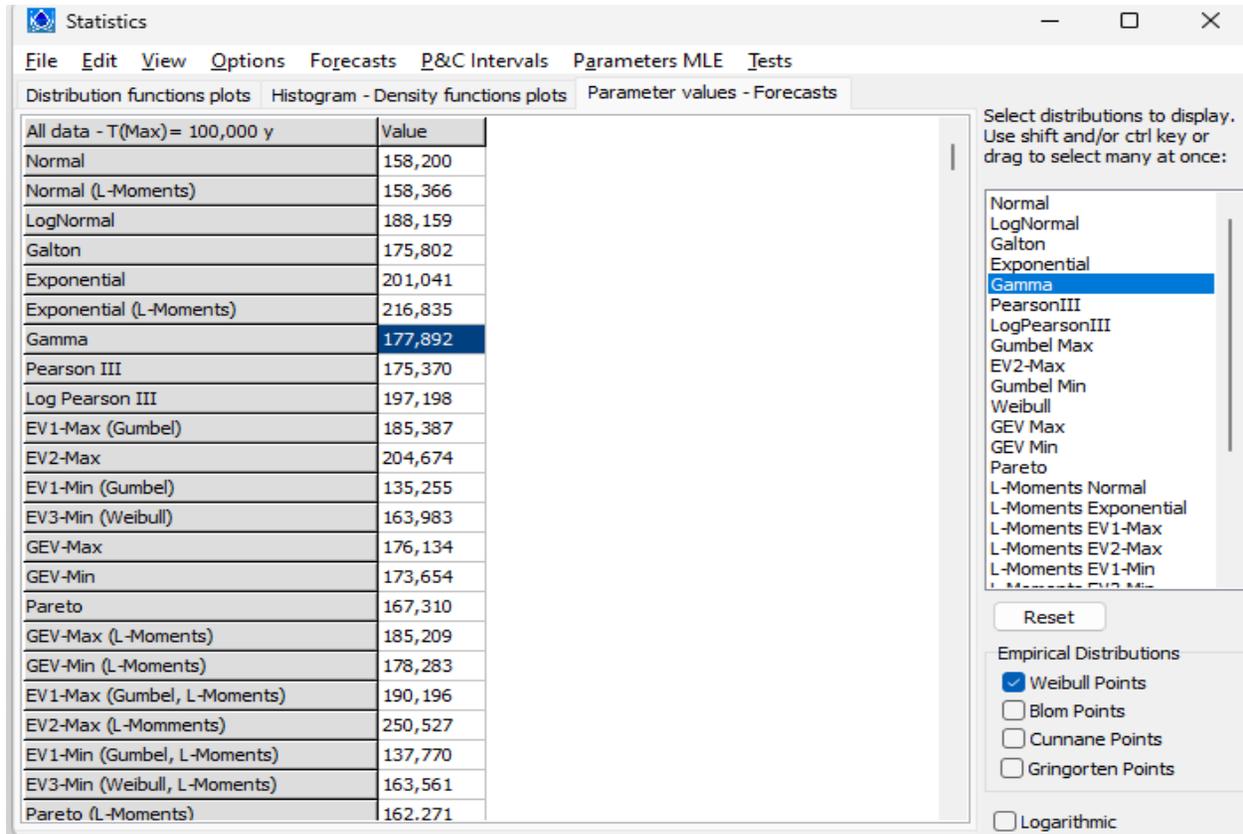


Ilustración 26. Periodos de retornos de distribución Gamma de la estación M0166 - Hydrognomon

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Los valores calculados de precipitación para los diferentes períodos de retorno se registran en una tabla, facilitando así su consulta y análisis.

Tabla 4. Resultados para el periodo de retorno de 100 años de la estación M0166 -Hydrognomon

T(AÑOS)	PP(MAX)
100	177, 892
50	96, 0431
25	89, 9679
10	81, 0629
5	73, 2527
2	59, 7251

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS EXCEL

Microsoft Excel se ha consolidado como una herramienta esencial en la regionalización de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), gracias a su capacidad para realizar cálculos precisos, analizar datos y generar gráficos de manera eficiente, lo que facilita a ingenieros e investigadores el manejo y la visualización de datos de precipitación, así como la elaboración de análisis complejos en la planificación y gestión de recursos hídricos (Walkenbach, J. (2015).

3.3.SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ARCGIS

Es una plataforma de sistemas de información geográfica (GIS) desarrollada por Esri que permite visualizar, analizar y gestionar datos espaciales. Se utiliza en diversas disciplinas para crear mapas, realizar análisis espaciales y compartir información geográfica, facilitando la toma de decisiones en proyectos relacionados con el medio ambiente, planificación urbana, infraestructura y gestión de recursos (Esri, 2020).

3.4. METODO DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL KRIGING

Es un método de interpolación estadística utilizado para estimar valores en puntos no muestreados basándose en valores conocidos en puntos cercanos. Este enfoque es ampliamente utilizado en diversas disciplinas, como la geología, la minería, la meteorología y la hidrología, para crear superficies continuas a partir de datos discretos.

El Kriging no solo proporciona estimaciones, sino que también ofrece medidas de incertidumbre asociadas a estas estimaciones, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas (Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989).

3.5 INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW)

Es un método de interpolación utilizado para estimar valores en puntos no muestreados a partir de datos conocidos en puntos cercanos. Este método se basa en la premisa de que los puntos más cercanos tienen una mayor influencia en el valor estimado que los puntos más lejanos.

IDW calcula el valor en un punto desconocido como una media ponderada de los valores de los puntos conocidos, donde los pesos son inversamente proporcionales a las distancias entre el punto desconocido y los puntos conocidos (GISGeography, (2023).

Este enfoque es sencillo de implementar y es comúnmente utilizado en aplicaciones geográficas y ambientales, como la estimación de precipitaciones, calidad del aire y otros fenómenos espaciales (Shepard, D. (1968).

3.6. MEDIA ARITMÉTICA

La fórmula para calcular la media aritmética es:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

\bar{X} es la media aritmética.

$\sum X_i$ es la sumatoria de todos los valores.

n es el número total de todos los valores.

3.7. MÉTODO DE RELACIÓN NORMALIZADA

Formula general:

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{\bar{P}_r} * P_r \quad (2)$$

Donde:

P_x es la precipitación estimada en la estación x (con datos incompletos).

\bar{P}_x es el promedio de precipitación histórica en la estación.

P_r es la precipitación registrada en la estación de referencia r durante el mismo período.

\bar{P}_r es el promedio de precipitación histórica en la estación de referencia r.

3.8. MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL

La ecuación general de la regresión lineal es:

$$Y = a + bX + e \quad (3)$$

Donde:

Y es la variable dependiente.

X es la variable independiente.

a es el intercepto de la recta.

b es la pendiente (grado de cambio de Y por unidad de X).

3.9. PERÍODO DE RETORNO

La fórmula para calcular el período de retorno es:

$$T = \frac{\eta + 1}{m} \quad (4)$$

Donde:

m es el número de orden considerando una lista que va de mayor a menor.

η es el número de datos.

3.10. DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXTREMOS TIPO GUMBEL

Formula general:

$$F_{(x)} = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - \mu}{\beta} \right) \right] \quad (5)$$

Donde:

$F_{(x)}$ es la probabilidad acumulada de que el valor x sea menor o igual a un valor dado.

μ es el parámetro de ubicación (media de los valores extremos).

β es el parámetro de escala, que determina la dispersión de los datos.

x es la variable aleatoria (valor extremo).

Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas por regiones de planificación y cuencas hidrográficas

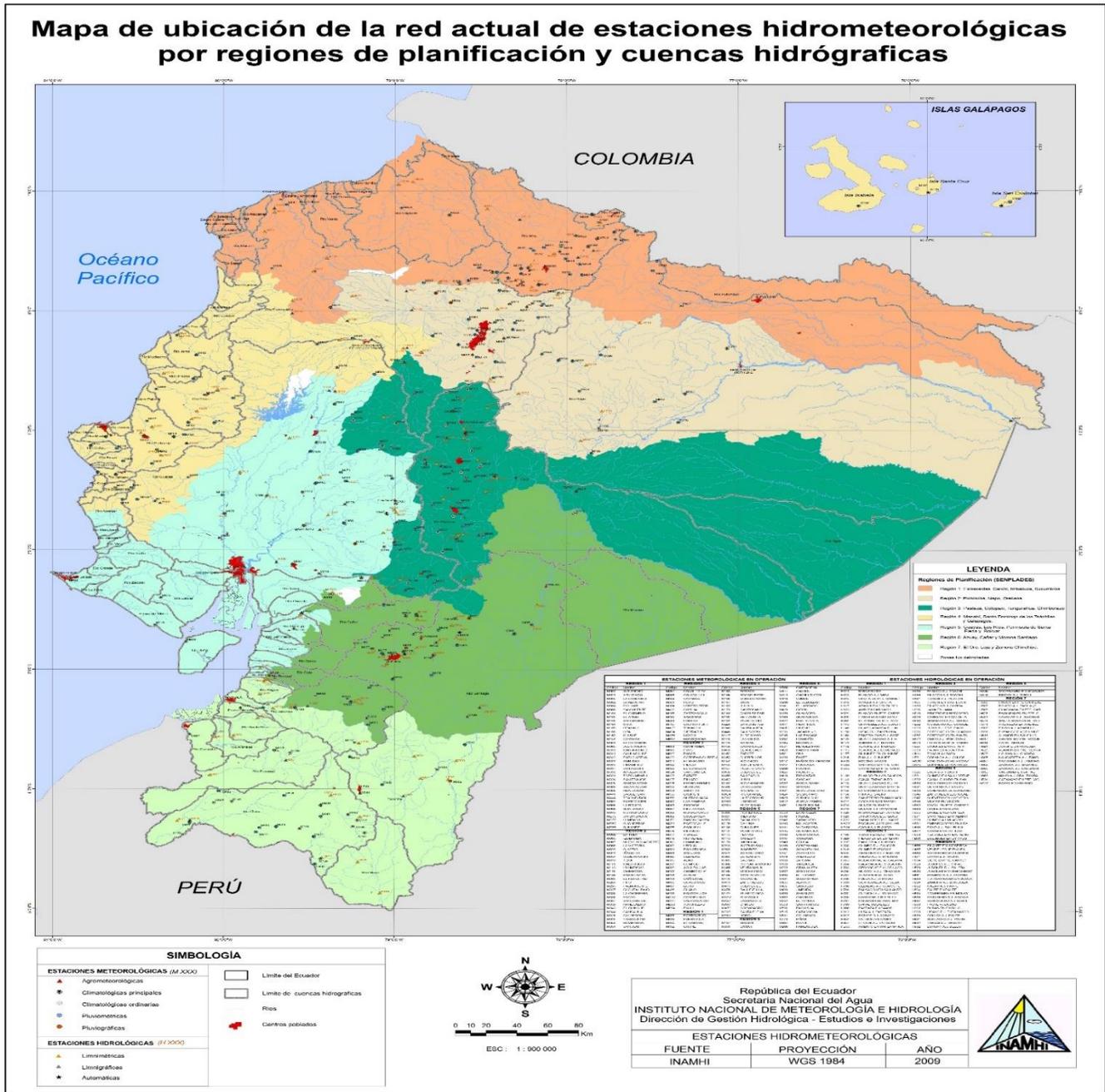


Ilustración 27. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas año 2009

Fuente: (INAMHI,2009)

CAPITULO IV

4. DESARROLLO

4.1. RECOPIACIÓN DE DATOS

La recopilación se los siguientes datos de la data hidrológica cuyo existentes en la zona de estudio y colindes, estos datos anuarios son pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAHMI) este instituto contiene datos históricos de las precipitaciones recolectadas por las estaciones meteorológicas

La mayoría de los datos registrados por las estaciones están representados en valores de precipitación máxima mensual, información relevante para complementar los datos hidrológicos. No obstante, un número considerable de estaciones cuenta únicamente con información sobre precipitaciones máximas anuales.

En la siguiente ilustración tenemos un ejemplar del formato usado por el INAHMI para el proceso de datos meteorológicos en la ilustración podemos observar el total de precipitación mensual y máxima en 24h por cada mes, estos valores se muestran en milímetros/hora el formato indica en que mes ocurrió la precipitación máxima de dicho año.

M0176		NARANJAL											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	día	Mínima	día			Media	Mensual	Suma		Máxima en 24hrs	día
ENERO		33.2	1	19.2	22	30.9	21.0					25.7	100				19		
FEBRERO		33.2	14	20.0	18	31.3	21.4	26.0						24.6	31.0	178.0	15.4	11	26
MARZO		34.2	8	21.0	6	33.2	22.0	26.9	100	18	62	8	92	25.4	32.5	137.8	39.4	9	19
ABRIL		34.0	1	21.0	5	32.9	22.1	26.5						25.1	32.1	68.7	11.6	4	12
MAYO		34.2	8	20.0	13	32.3	22.1	26.4	100	1	73	7	93	25.2	32.2	85.6	27.4	5	15
JUNIO		34.2	3			31.6	21.1	25.9	98	1	67	7	92	24.6	31.0	11.9	4.2	24	4
JULIO		37.2	10	19.0	22	31.6	19.8	25.3	98	1	61	24	90	23.6	29.3	11.2	4.2	17	4
AGOSTO		32.0	14	18.0	8	29.8	19.5	24.2	98	2	79	30	92	22.8	27.9	8.0	2.4	7	5
SEPTIEMBRE		34.0	10	18.2	6	30.1	19.8	24.7	100	18	76	8	91	23.2	28.7	19.6	6.0	19	8
OCTUBRE				19.0	10	30.0	20.1	24.7						23.2	28.7	12.4	3.2	22	7
NOVIEMBRE		34.2	29	18.2	13	31.0	19.9	25.6	100	8	73	15	92	24.2	30.5	9.6	4.2	10	5
DICIEMBRE		34.2	6	19.2	1	32.0	20.7	26.1	98	10	80	31	92	24.8	31.5	21.2			
VALOR ANUAL						31.4	20.8	25.7					91	24.3	30.5	667.5			

Ilustración 28. Formato de presentación para data meteorológica INAMHI

Fuente: (INAMHI, 2013)

Las estaciones elegidas para el análisis se seleccionaron considerando su proximidad a la zona de estudio, identificándose a través de los mapas de ubicación proporcionados por el INAMHI.

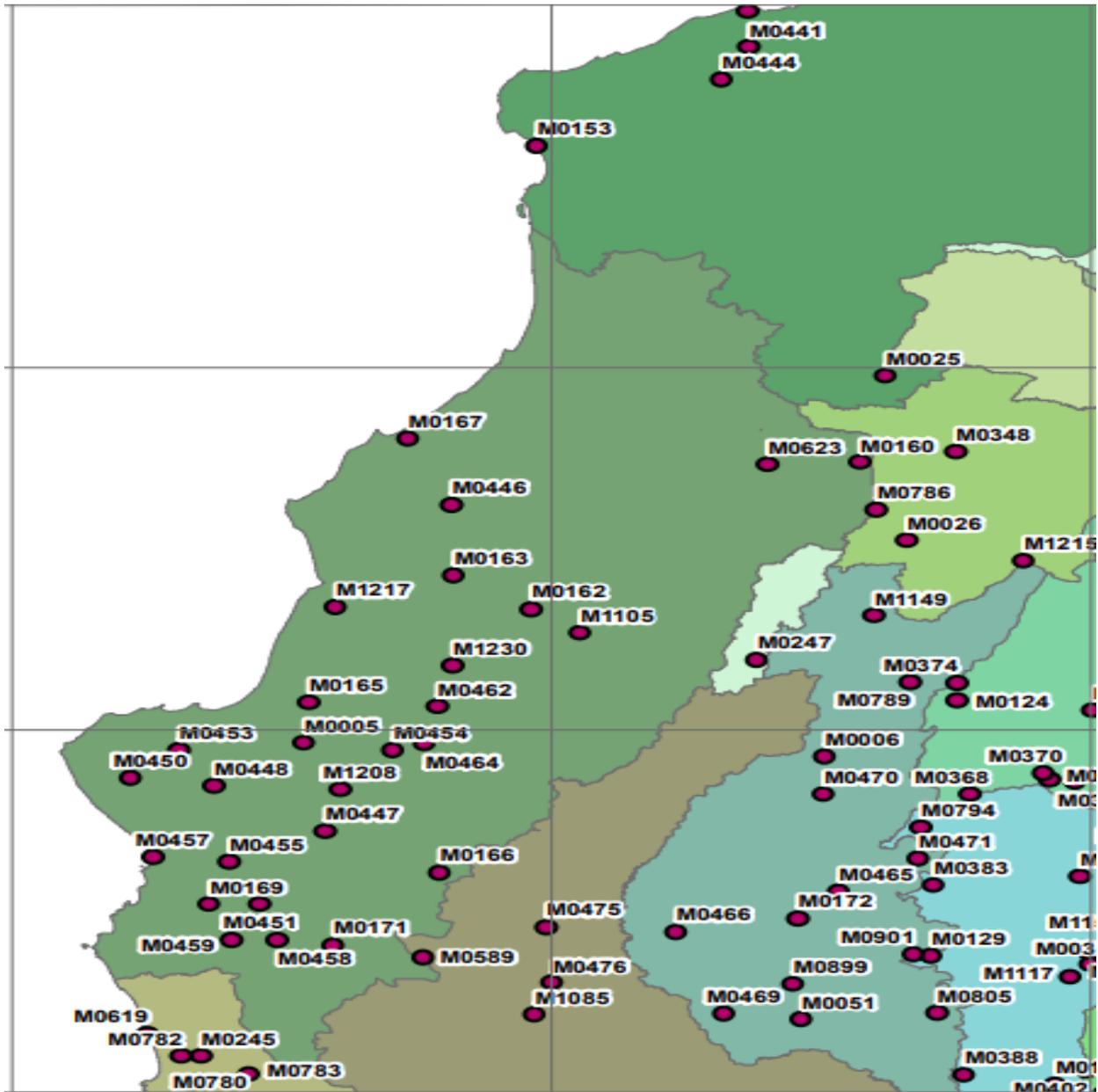


Ilustración 29. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas

Fuente: (INAMHI, 2013)

Tabla 5. Estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la zona de estudio

CODIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	PROVINCIA
MO176	NARANJAL	2°39'44 " S	79 °35'23 " W	GUAYAS
M0475	COLIMES DE BALZAR INAMHI	10°32 ' 34 " S	80°0 ' 29 " W	GUAYAS
MO005	PORTOVIEJO-UTM	1 °2' 15"S	80 ° 27' 35 "W	MANABI
M0006	PICHILINGUE	1 °6'0 "s	79° 27' 42 "W	LOS RÍOS
MO162	CHONE-U. CATOLICA	0 °39'51 " S	80°2'11 " W	MANABI
M0408	ALAJUELA (DAULE PERIPA)	0° 57' 1'' S	79° 45' 55'' W	DAULE
MO464	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	1° 2 ' 12 " S	80 °13'58 " W	MANABI
M159	LA NARANJA	1° 22' S	80° 28' W	GUAYAS
M0166	OLMEDO-MANABI	1°23' 41 "S	80 ° 12' 25 " W	MANABI
MO171	CAMPOSANO #2	1°35'34 " S	80 ° 24'4 " W	MANABI

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

4.2. COMPLEMENTACIÓN DE DATOS

Los datos faltantes utilizamos datos de estación meteorológicas cercanas que presentan condiciones climáticas similares para poder aplicar técnicas de interpolación espacial para mejorar cuya precisión.

Interpolación espacial se emplean métodos como ponderación de datos, regresiones lineales o interpolaciones basada en las otras estaciones meteorológicas.

Tabla 6. Estaciones número de años

CODIGO	NOMBRE	#AÑOS
M0176	NARANJAL	31
M0475	COLIMES DE BALZAR INAMHI	31
M0005	PORTOVIEJO-UTM	54
M0006	PICHILINGUE	66
MO162	CHONE-U. CATOLICA	51
M0408	ALAJUELA (DAULE PERIPA)	45
M0464	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	28
M159	LA NARANJA	21
M0166	OLMEDO-MANABI	47
M0171	CAMPOSANO #2	47

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

4.3. COMPLEMENTACIÓN DE DATOS

4.3.1. DESARROLLO DE CURVAS IDF Y REGIONALIZACIÓN

A partir de las distribuciones teóricas que presentaron el mejor ajuste en cada estación meteorológica, se procedió al desarrollo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) correspondientes.

Estas curvas fueron generadas para diferentes periodos de retorno, garantizando que reflejan de manera precisa el comportamiento de las precipitaciones extremas en función de la duración y la frecuencia de ocurrencia.

Tabla 7. Distribuciones teóricas de mejor ajuste para cada estación

CODIGO	NOMBRE	MEJOR AJUSTE	PORCENTAJE%
MO176	NARANJAL	Log Pearson III	82,23%
M0475	COLIMES DE BALZAR INAMHI	Normal	93,93%
M005	PORTOVIEJO-UTM	Log Pearson III	97,12%
M0006	PICHILINGUE	Normal	99,98
MO162	CHONE-U. CATOLICA	Log Pearson III	87,85%
M0408	ALAJUELA (DAULE PERIPA)	Pearson III	93,77%
M0464	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	EV1-Max (Gumbel)	100,00%
M159	LA NARANJA	Gamma	99,98%
M0166	OLMEDO-MANABI	Gamma	99,86%
M0171	CAMPOSANO #2	Gamma	97,68%

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

La regionalización de los parámetros k , m y n se llevó a cabo con el objetivo de caracterizar espacialmente las propiedades de las precipitaciones extremas en la región de estudio.

Estos parámetros, derivados de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), permiten establecer relaciones consistentes entre la intensidad de las lluvias, su duración y los periodos de retorno.

Tabla 8. Parámetros k-m-n

CODIGO	NOMBRE	k	M	N
MO176	NARANJAL	73,8638	0,5288	0,6164
M0475	COLIMES DE BALZAR INAMHI	429,458	0,21	0,6164
MO005	PORTOVIEJO-UTM	500,7255	0,1227	0,6164
M0006	PICHILINGUE	526,2471	0,1469	0,6164
MO162	CHONE-U. CATOLICA	348,8812	0,1944	0,6164
M0408	ALAJUELA (DAULE PERIPA)	425,223	0,11	0,6164
MO464	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	337,382	0,133	0,6164
M159	LA NARANJA	73,8638	0,5288	0,6164
M0166	OLMEDO-MANABI	418,7963	0,1553	0,6164
MO171	CAMPOSANO #2	353,8524	0,1527	0,6164

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

4.4 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) – ARCGIS

Como primer punto debemos ingresar el archivo con las provincias del país, usamos

Capa>> Administrador de fuente de datos>> Vector>>Fuente>>Archivo Nxprovincia.

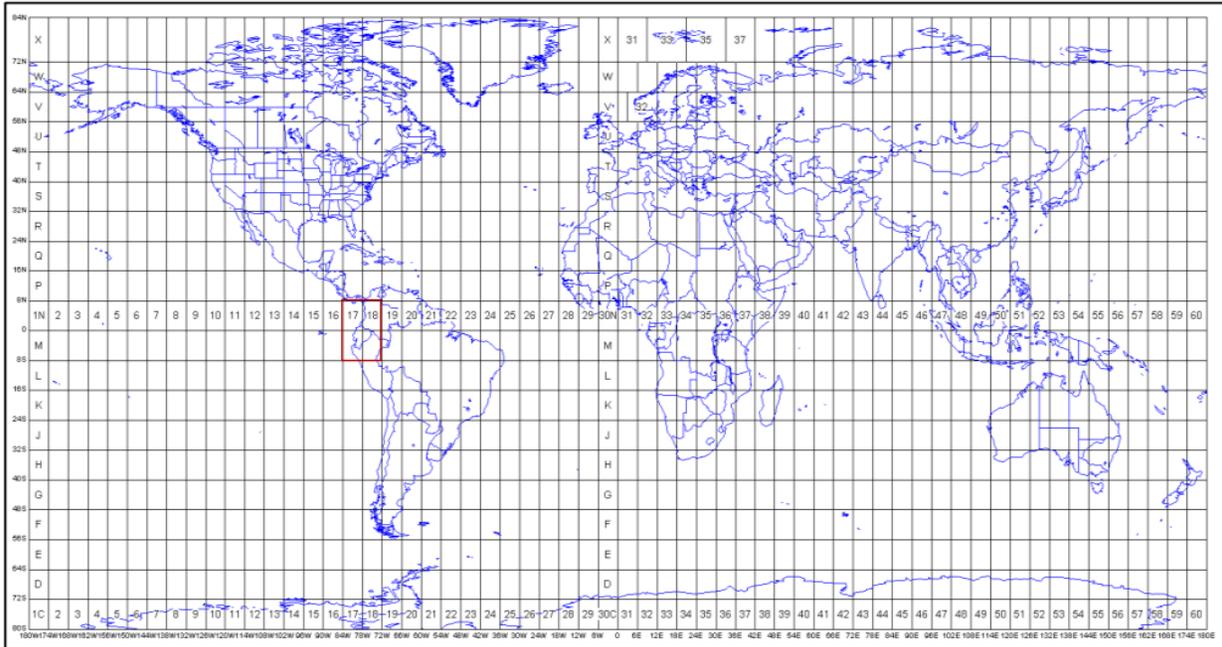


Ilustración 30. Zonas del sistema Universal Transversal de Mercator (UTM)

Fuente: (Morton, 2023)

Al exportar la capa, se generará un mapa que abarcará todo el territorio del Ecuador.

Es importante identificar y marcar la cuenca específica que se desea analizar. En este caso, nos enfocaremos en la cuenca del Río Puca, asegurándonos de delimitar correctamente su extensión para realizar los cálculos correspondientes de manera precisa.



Ilustración 31. Ubicación del Área de Estudio

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

La cuenca seleccionada, con una superficie total de **1,491 km²**, representa un área de importancia estratégica para el análisis hidrológico debido a sus características geográficas y climáticas.

Esta extensión abarca una variedad de terrenos y usos del suelo, que incluyen zonas urbanas, agrícolas y áreas naturales protegidas, cada una con implicaciones significativas para los procesos de escorrentía, infiltración y almacenamiento hídrico.



Ilustración 32. Área Total del Río Puca

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Calcular la distancia entre cada estación auxiliar (aquellas estaciones ubicadas alrededor de la estación de estudio) y la estación de estudio misma (cuyos datos serán completados). Este método se basa en la relación existente entre las estaciones, determinada por la distancia que las separa.

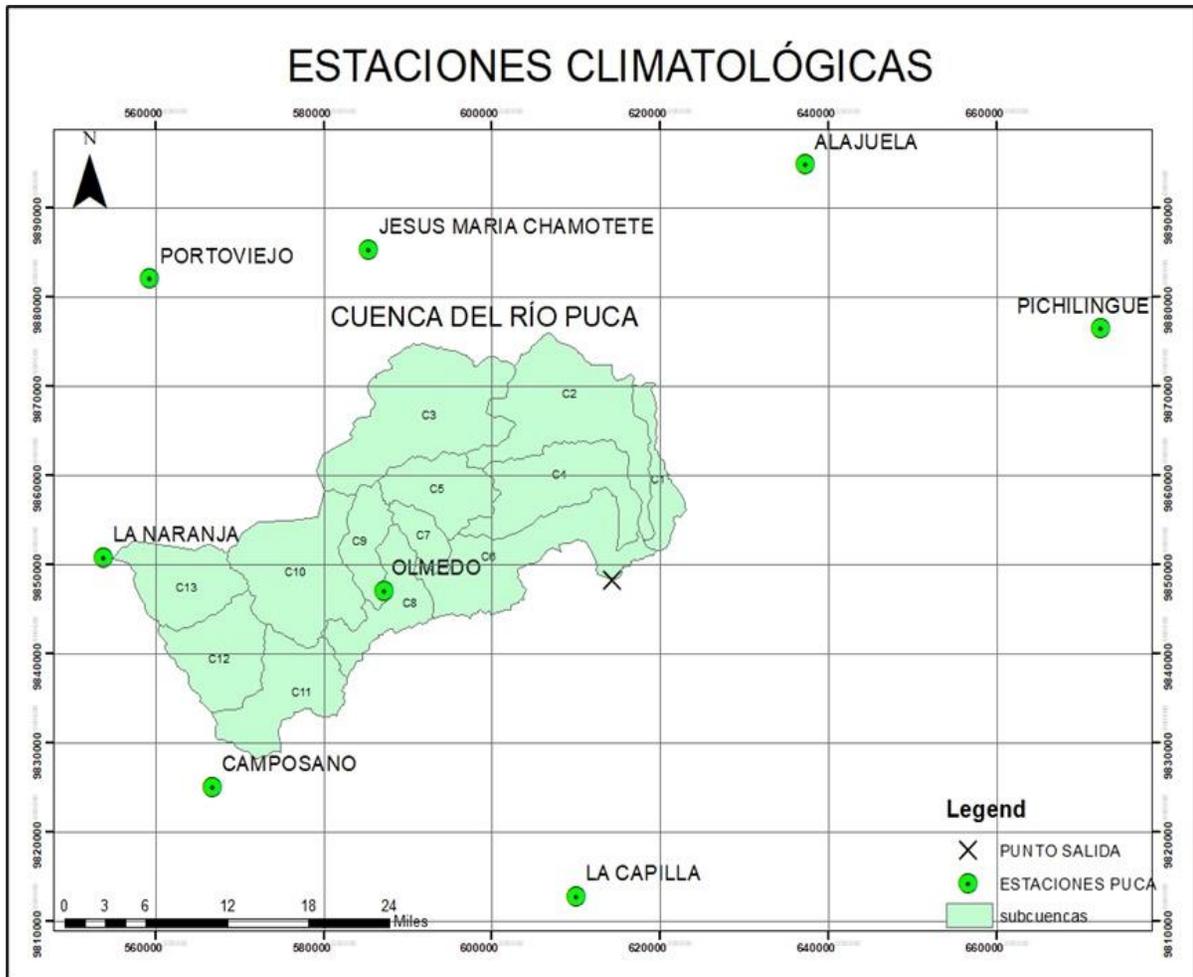


Ilustración 33. Estaciones de estudio

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

4.5. INTERPOLACIÓN ESPACIAL KRIGING

Nos dirigimos al Artoolbox, seleccionamos Spatial Analysis Tools y luego accedemos a la subcarpeta Interpolation.

Aquí debemos identificar la herramienta con la que vamos a trabajar. En este caso, comenzaremos utilizando la herramienta Kriging.

Hacemos doble clic sobre la herramienta, ingresamos el archivo de tipo punto y seleccionamos el campo sobre el cual se realizará el análisis. En este caso, el campo específico será definido según los datos disponibles.

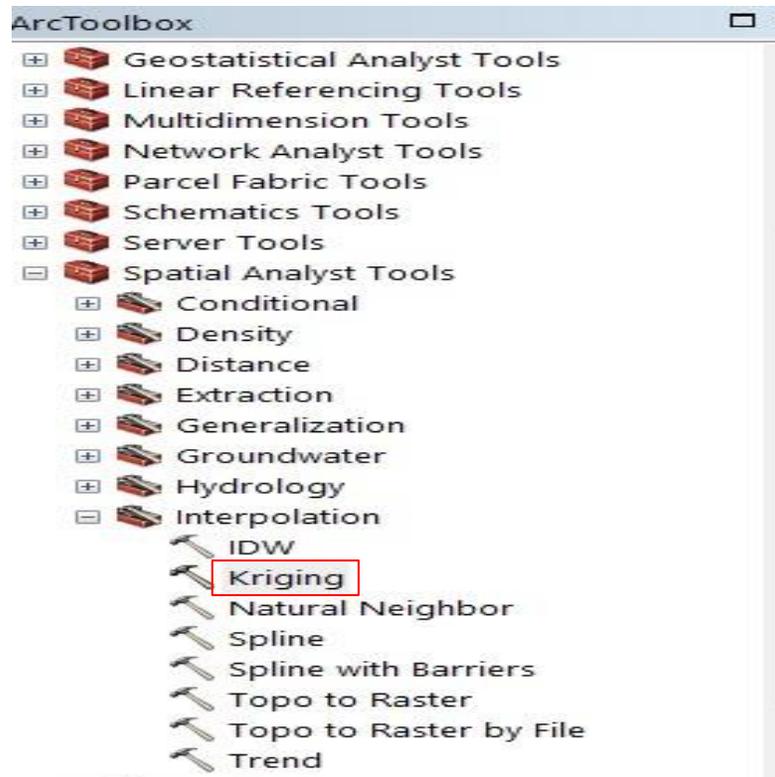


Ilustración 34. Artoolbox ArcGIS

Elaborador por: Ivan Corrales y Jean Quezada

A continuación, se seleccionará la carpeta de destino para guardar el resultado. En el método de Kriging, se empleará el método ordinario. Posteriormente, en la opción Output Cell Size, se asignará un valor de 50.

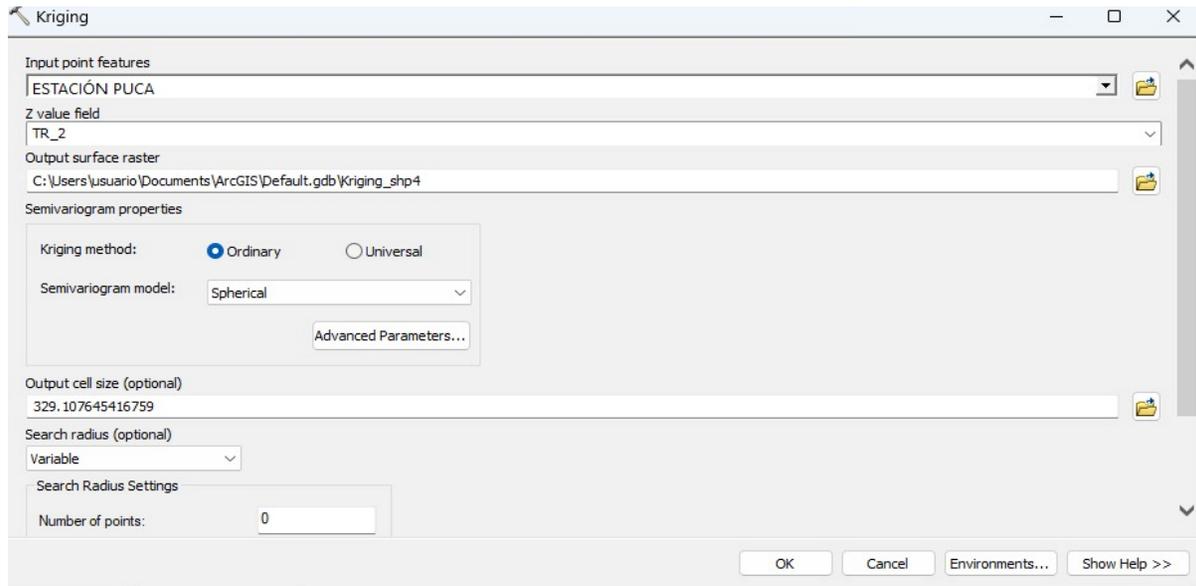


Ilustración 35. Método de Kriging

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Seguidamente, nos dirigiremos a Environments para realizar la configuración necesaria, asegurándonos de que el resultado se genere dentro del área de estudio. Para ello, primero es necesario definir el área de procesamiento.

Expandimos la herramienta y, en la sección Extensión, configuramos la opción para trabajar con toda la extensión correspondiente a la capa de estaciones Río Puca.

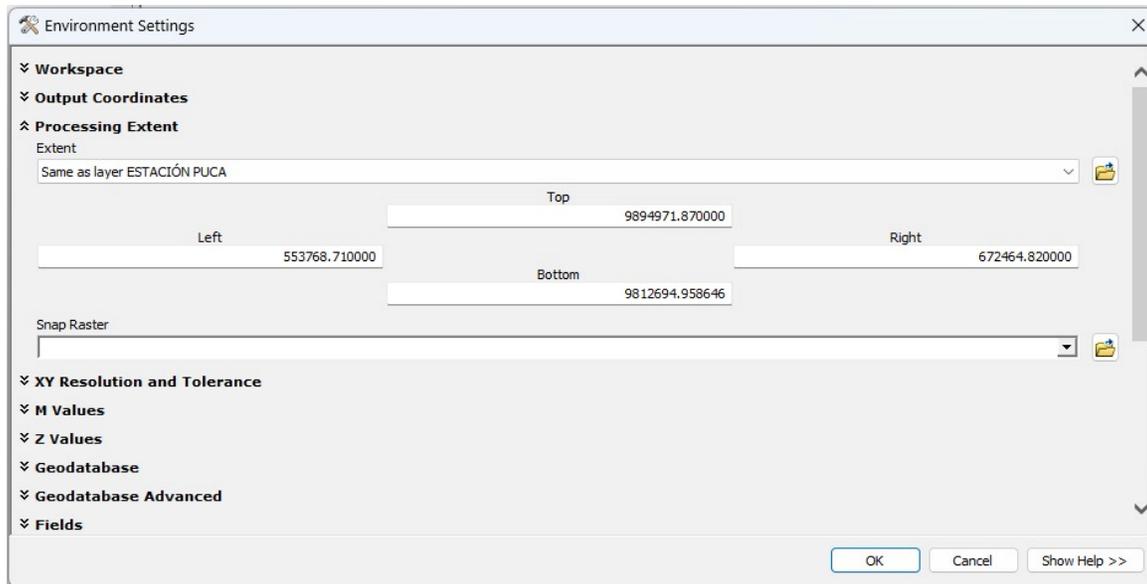


Ilustración 36. Environments

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Con el área de procesamiento definida, configuraremos la extracción automática mediante máscara.

Para ello, accedemos a Raster Analysis y, en la opción Mask, seleccionamos la capa que servirá como referencia para el corte.

En este caso, se utilizará la capa de la unidad hidrográfica Puca. Una vez seleccionada, hacemos clic en OK para confirmar y nuevamente en OK para iniciar el procesamiento.

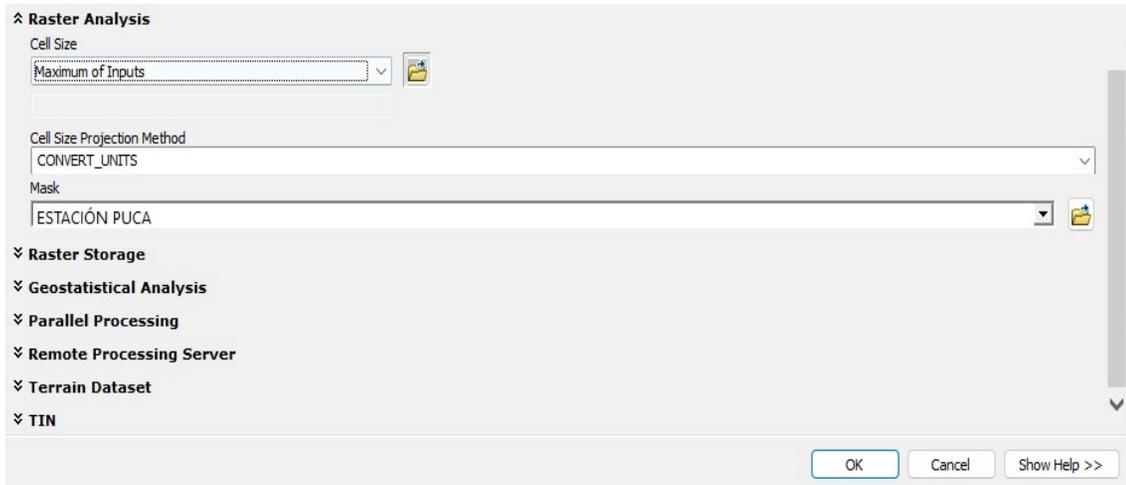


Ilustración 37. Raster Analysis

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Es importante tener en cuenta que tanto los archivos en formato shapefile como el entorno de trabajo deben compartir el mismo sistema de coordenadas para garantizar la correcta alineación de los datos y resultados.

Tabla 9. Precipitaciones máximas estación M005

TABLA # M005									
ESTACIÓN METEOROLÓGICA: PORTOVIEJO									
TR	PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN MM								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	6,8	10,5	13,2	18,4	23,2	27,9	37,0	44,6	53,4
5	10,3	15,9	20,1	27,9	35,3	42,4	56,3	67,9	81,2
10	12,7	19,5	24,7	34,3	43,3	52,0	69,0	83,3	99,6
25	15,6	24,1	30,5	42,3	53,5	64,2	85,2	102,8	122,9
50	17,8	27,5	34,8	48,2	61,0	73,2	97,1	117,2	140,2
100	20,0	30,8	39,0	54,1	68,4	82,1	109,0	131,5	157,3
1000	27,2	41,9	53,1	73,6	93,1	111,7	148,3	178,9	214,0

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

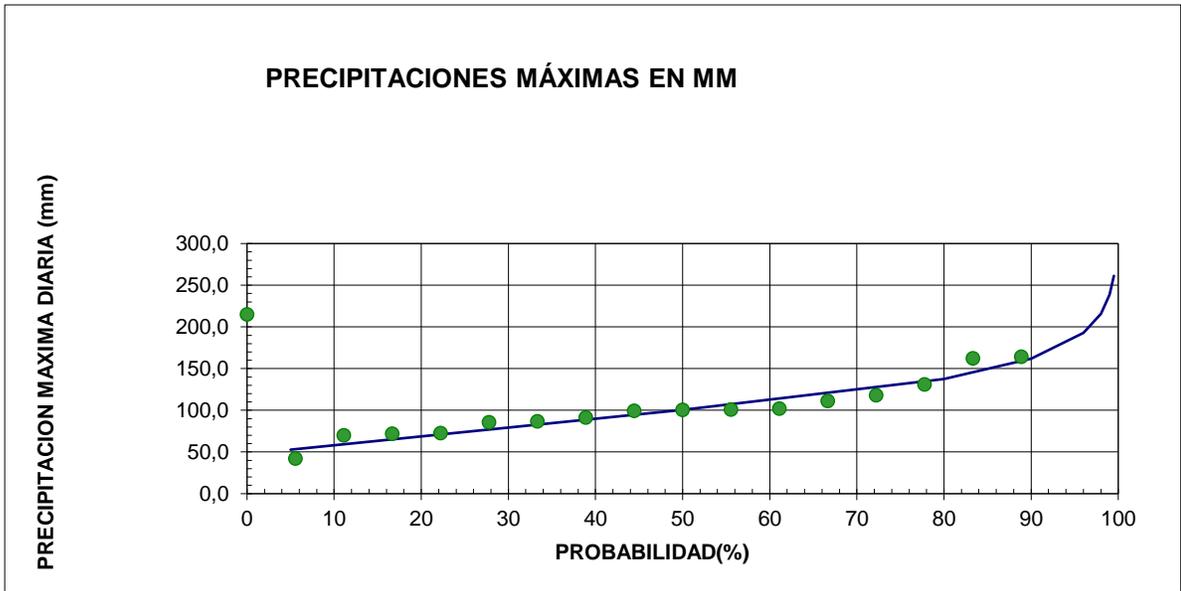


Ilustración 38. Precipitaciones máximas estación M005

Elaborador por: Ivan Corrales y Jean Quezada

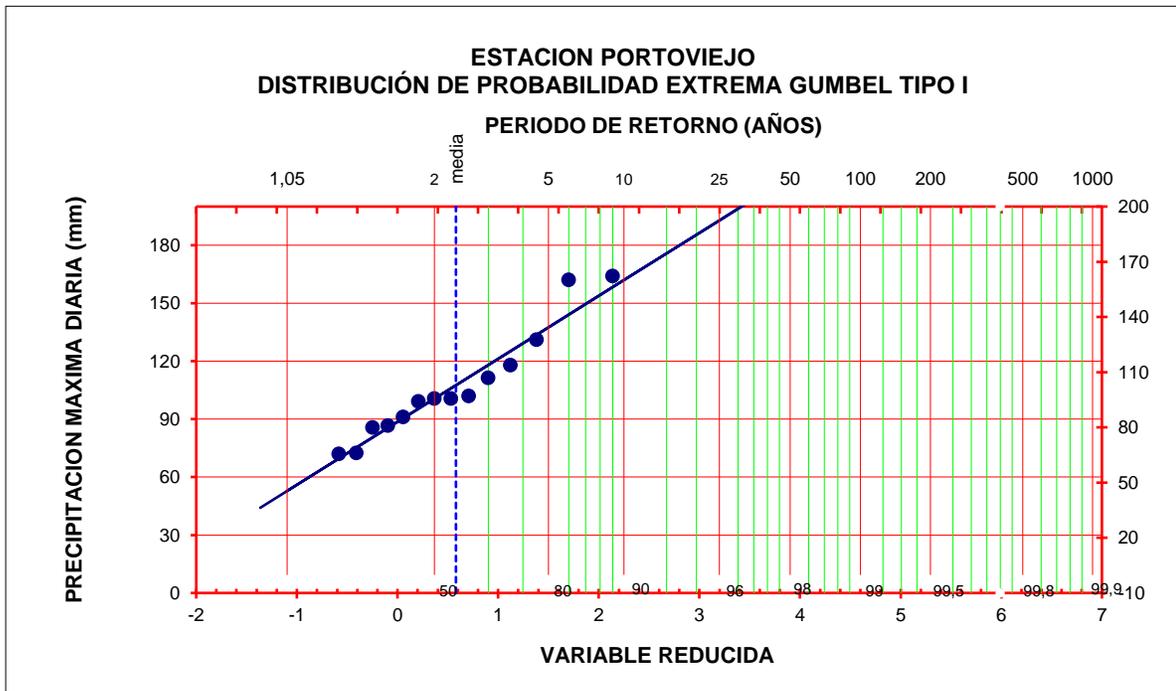


Ilustración 39. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I M005

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

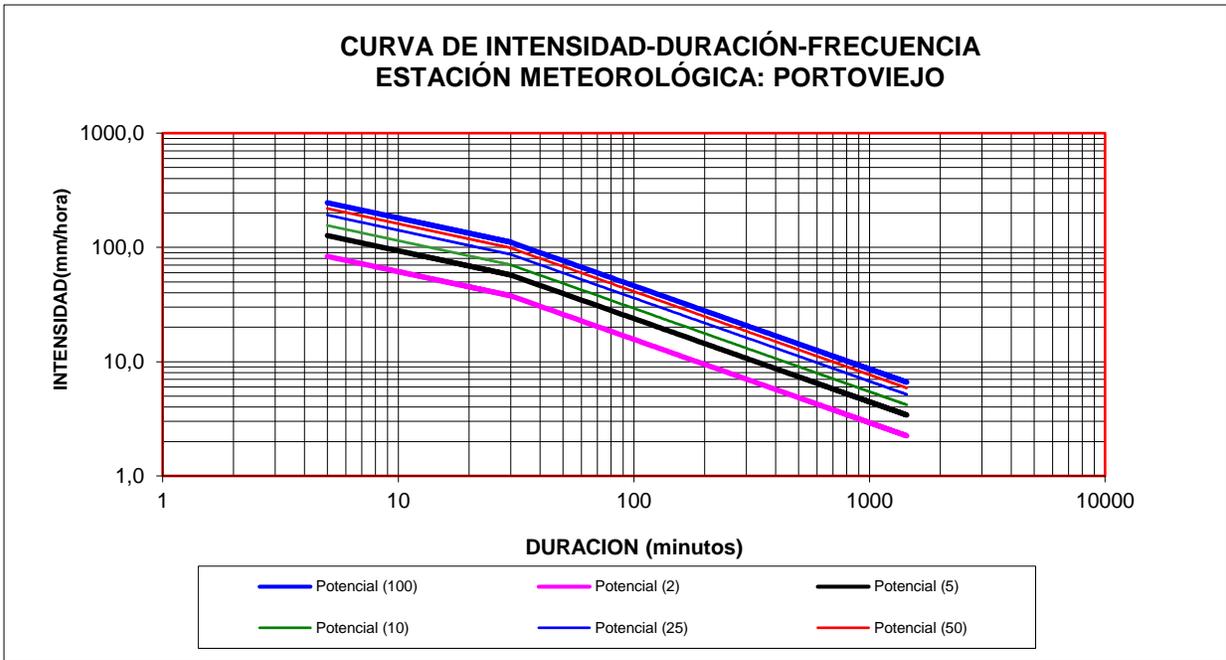


Ilustración 40. Curva IDF estación M005

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 10. Precipitaciones máximas estación M006

TABLA # M006									
ESTACION METEOROLÓGICA: PICHILINGUE									
TR	PRECIPITACIONES MAXIMAS EN mm								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	14,3	22,1	28,0	38,8	49,1	58,9	78,2	94,3	112,8
5	17,7	27,3	34,5	47,8	60,5	72,6	96,3	116,2	139,0
10	19,9	30,7	38,8	53,8	68,0	81,6	108,4	130,7	156,4
25	22,6	35,0	44,2	61,3	77,6	93,1	123,6	149,1	178,3
50	24,7	38,1	48,3	66,9	84,7	101,6	134,9	162,7	194,6
100	26,8	41,3	52,3	72,5	91,7	110,0	146,1	176,2	210,8
1000	33,5	51,8	65,5	90,9	114,9	137,9	183,1	220,8	264,2

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

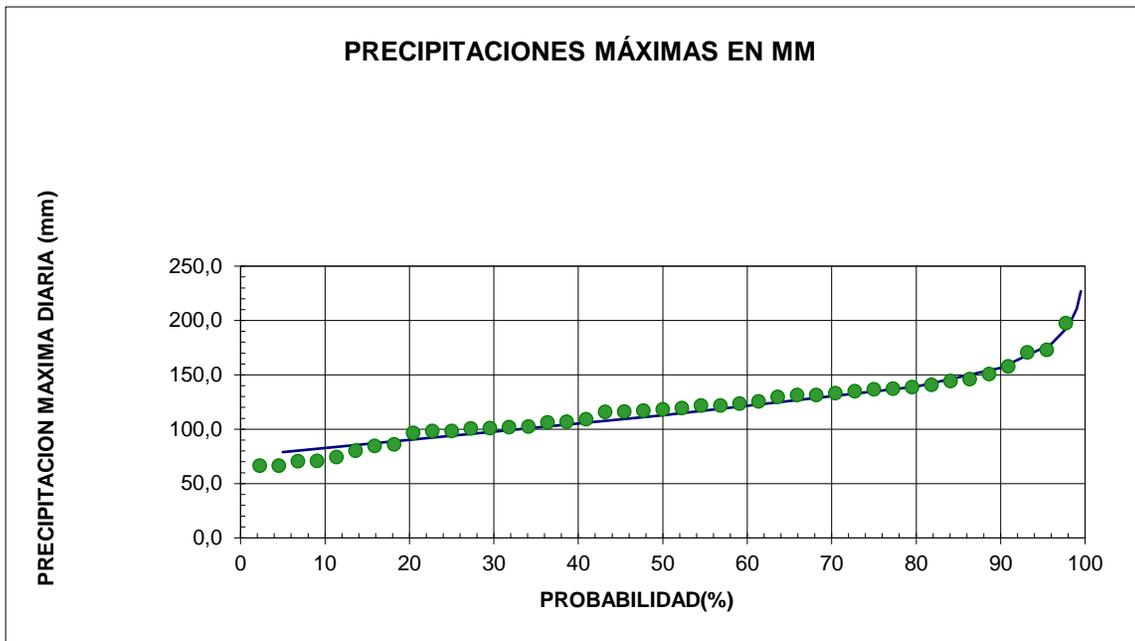


Ilustración 41. Precipitaciones máximas estación M006

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

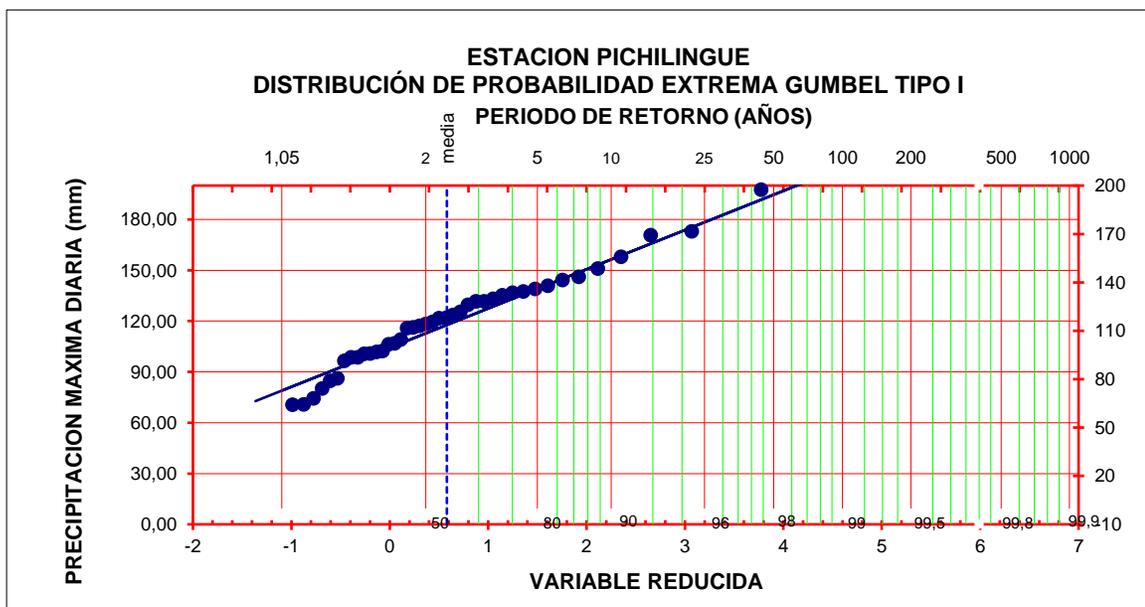


Ilustración 42. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I M006

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

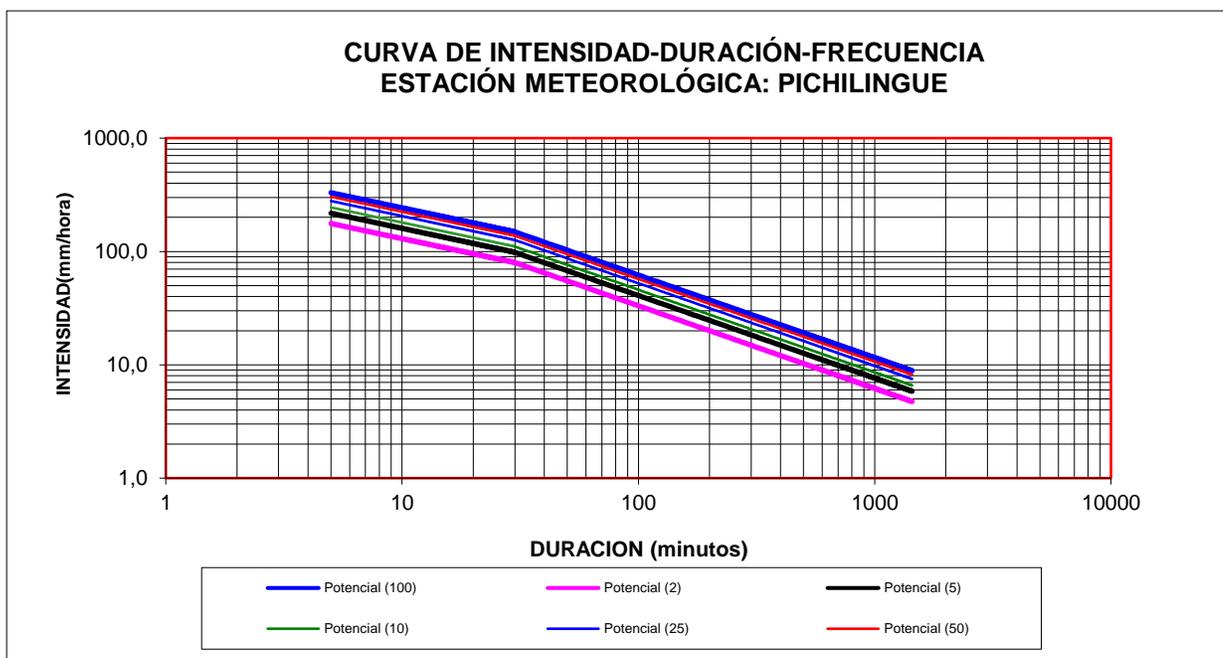


Ilustración 43. Curva IDF estación M006

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 11. Precipitaciones máximas estación M0408

TABLA # M0408									
ESTACION METEOROLÓGICA: ALAJUELA									
TR	PRECIPITACIONES MAXIMAS EN mm								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	12,7	19,6	24,8	34,4	43,5	52,2	69,2	83,5	99,9
5	16,3	25,2	31,9	44,3	56,0	67,2	89,2	107,6	128,7
10	18,8	28,9	36,6	50,8	64,2	77,1	102,4	123,5	147,7
25	21,8	33,7	42,6	59,1	74,7	89,6	119,0	143,6	171,7
50	24,1	37,2	47,0	65,2	82,5	99,0	131,4	158,5	189,6
100	26,3	40,6	51,4	71,3	90,2	108,2	143,7	173,3	207,3
1000	33,8	52,1	65,9	91,4	115,6	138,8	184,2	222,2	265,8

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

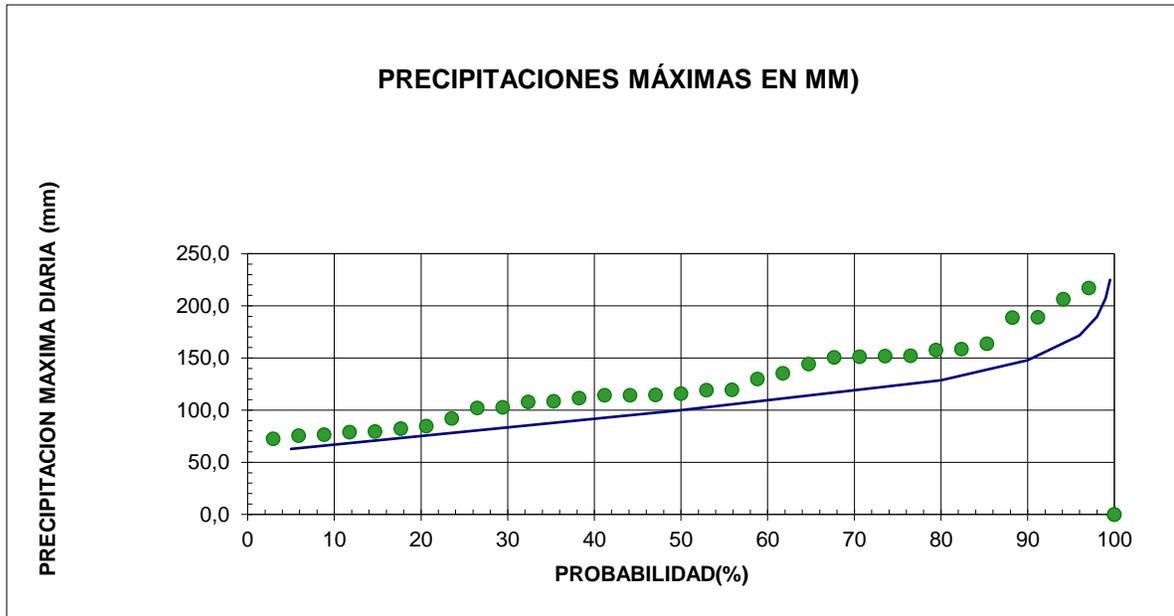


Ilustración 44. Precipitaciones máximas estación M0408

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

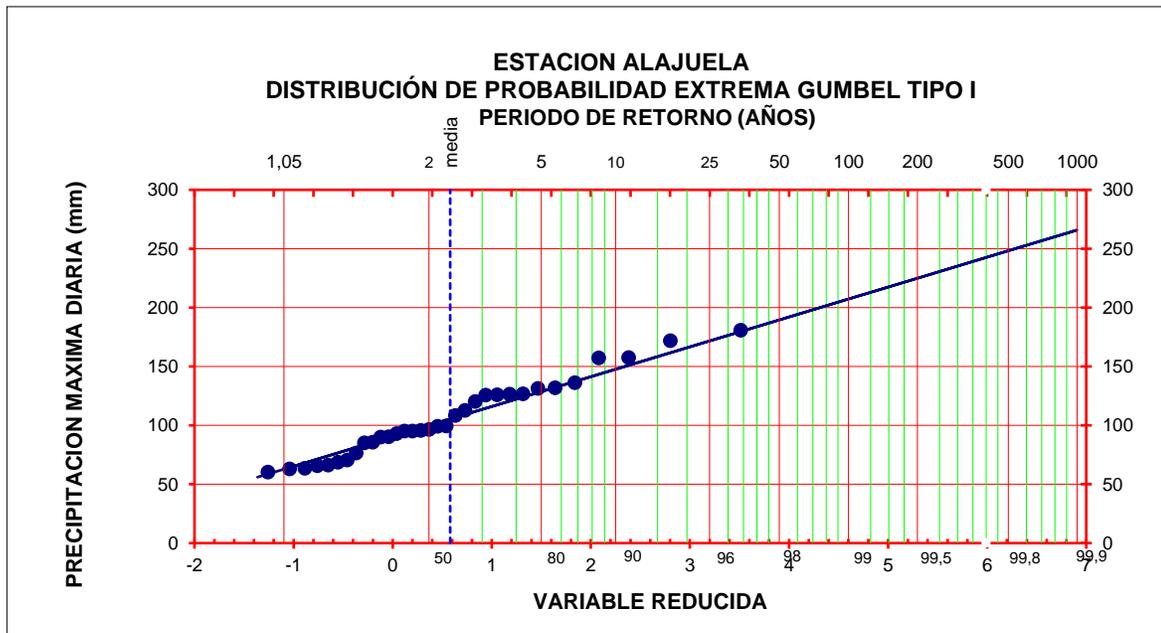


Ilustración 45. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I M0408

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

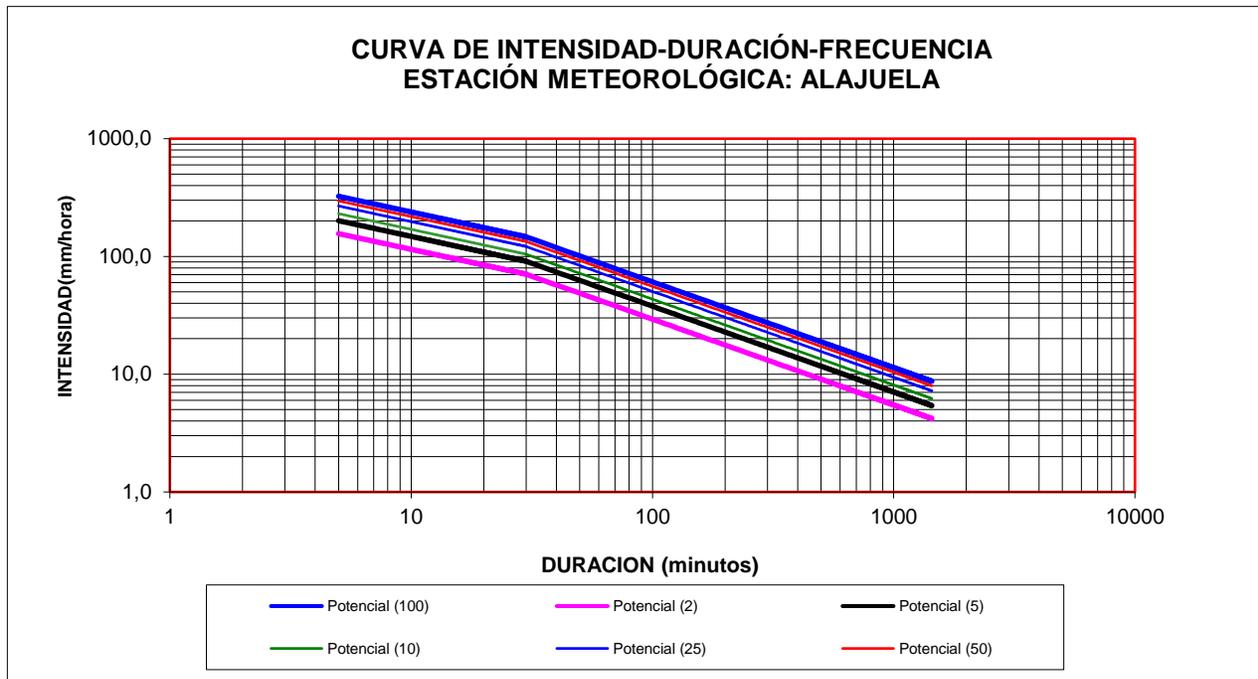


Ilustración 46. Curva IDF estación M0408

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 12. Precipitaciones máximas estación M0464

TABLA # MO464									
ESTACION METEOROLÓGICA: RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA									
TR	PRECIPITACIONES MAXIMAS EN mm								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	10,2	15,7	19,9	27,6	34,9	41,8	55,5	67,0	80,1
5	13,2	20,4	25,8	35,7	45,2	54,2	72,0	86,8	103,9
10	15,2	23,4	29,7	41,1	52,0	62,4	82,9	100,0	119,6
25	17,7	27,3	34,6	48,0	60,6	72,8	96,6	116,6	139,4
50	19,6	30,2	38,2	53,0	67,1	80,5	106,8	128,9	154,1
100	21,4	33,1	41,9	58,1	73,4	88,1	116,9	141,1	168,8
1000	27,6	42,5	53,8	74,7	94,4	113,3	150,4	181,5	217,1

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

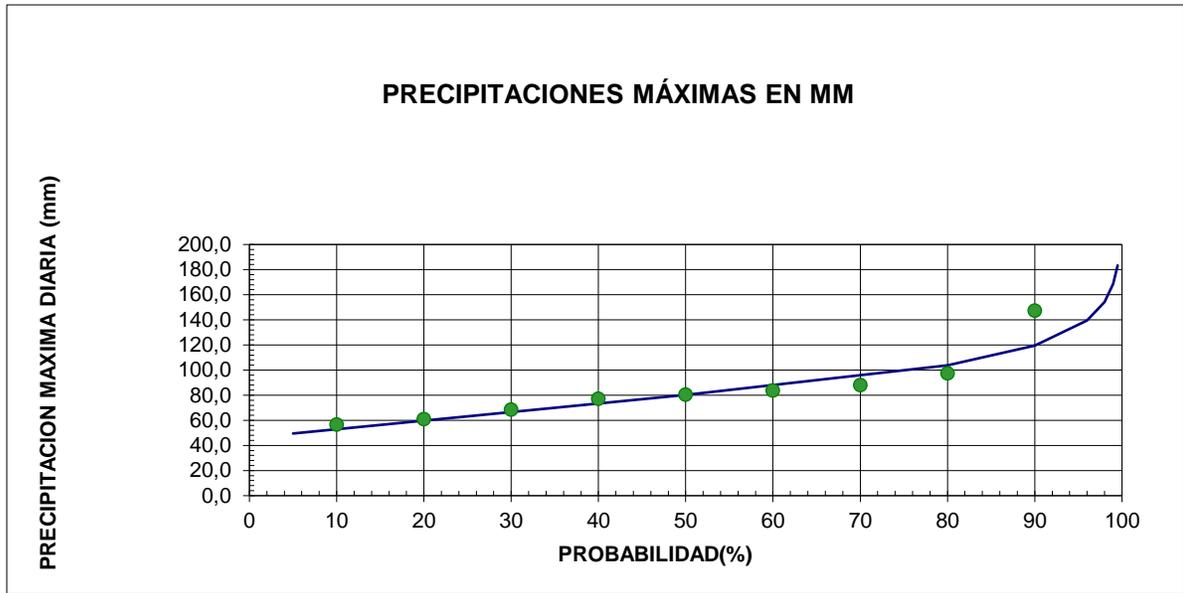


Ilustración 47. Precipitaciones máximas estación M0464

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

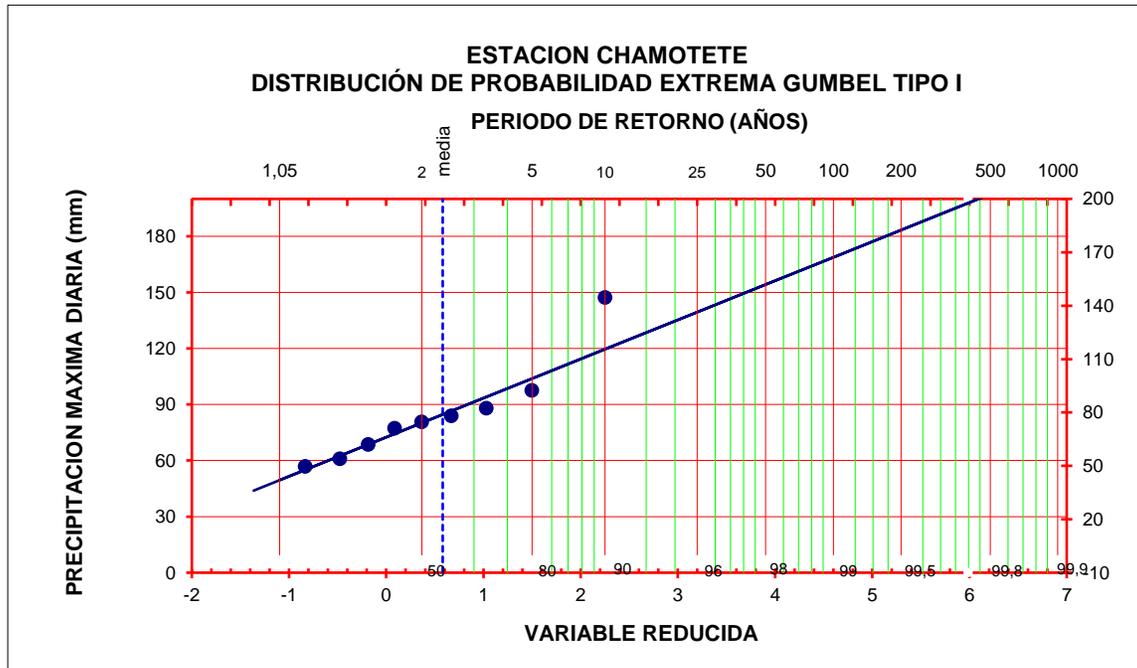


Ilustración 48. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I M0464

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

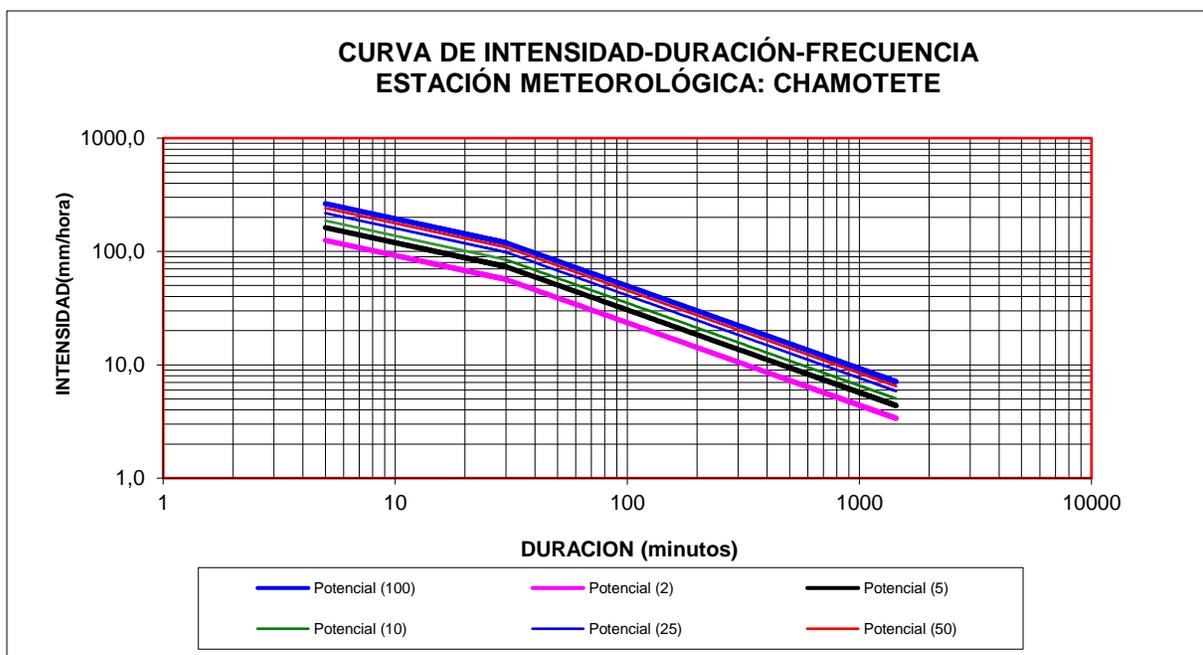


Ilustración 49. Curva IDF estación M0464

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 13. Precipitaciones máximas estación M0159

TABLA # M0159									
ESTACION METEOROLÓGICA: LA NARANJA									
TR	PRECIPITACIONES MAXIMAS EN mm								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	7,5	11,6	14,7	20,3	25,7	30,9	41,0	49,4	59,1
5	8,8	13,6	17,2	23,8	30,1	36,2	48,0	57,9	69,3
10	9,6	14,9	18,8	26,1	33,1	39,7	52,7	63,5	76,0
25	10,7	16,6	20,9	29,1	36,7	44,1	58,5	70,6	84,5
50	11,5	17,8	22,5	31,2	39,5	47,4	62,9	75,9	90,8
100	12,3	19,0	24,1	33,4	42,2	50,6	67,2	81,1	97,0
1000	14,9	23,1	29,2	40,5	51,2	61,4	81,5	98,4	117,6

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

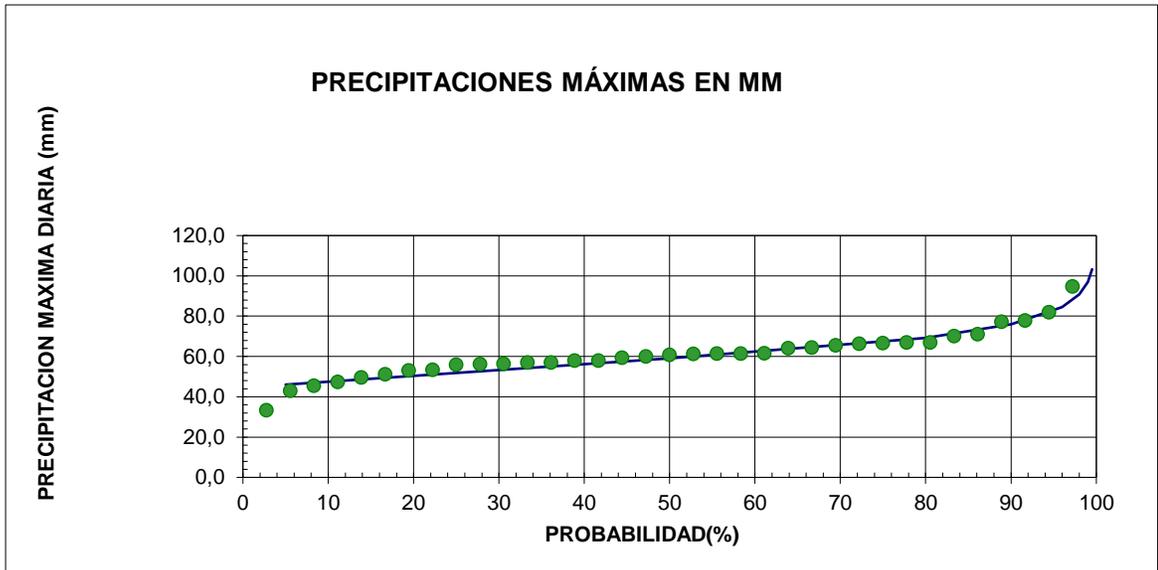


Ilustración 50. Precipitaciones máximas estación M0159

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

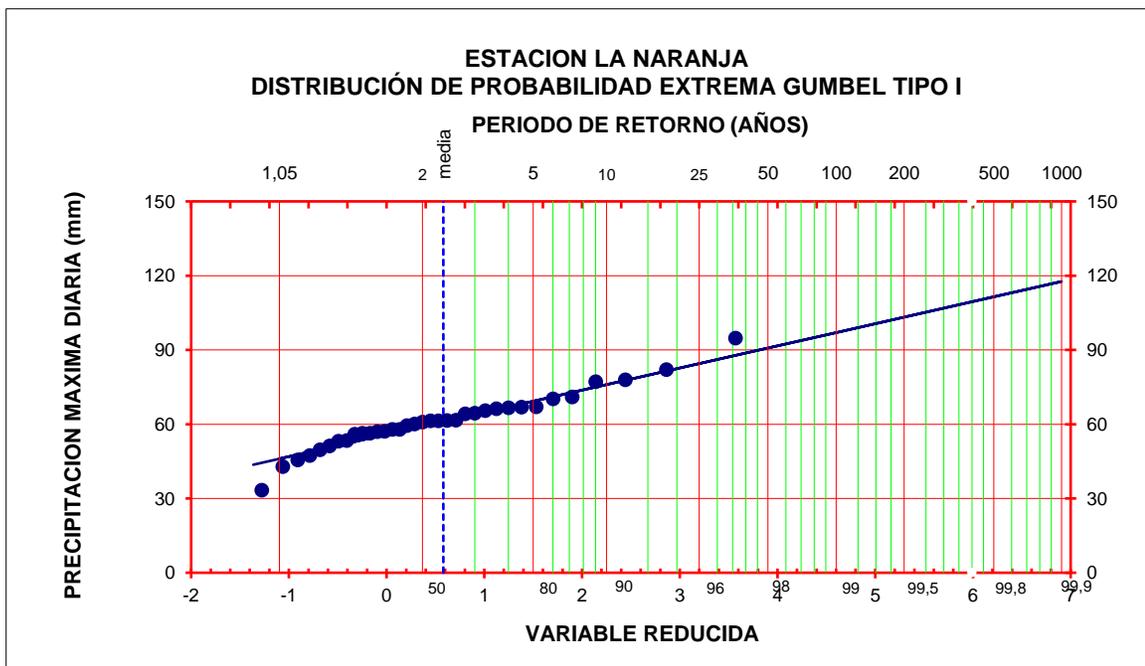


Ilustración 51. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I M0159

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

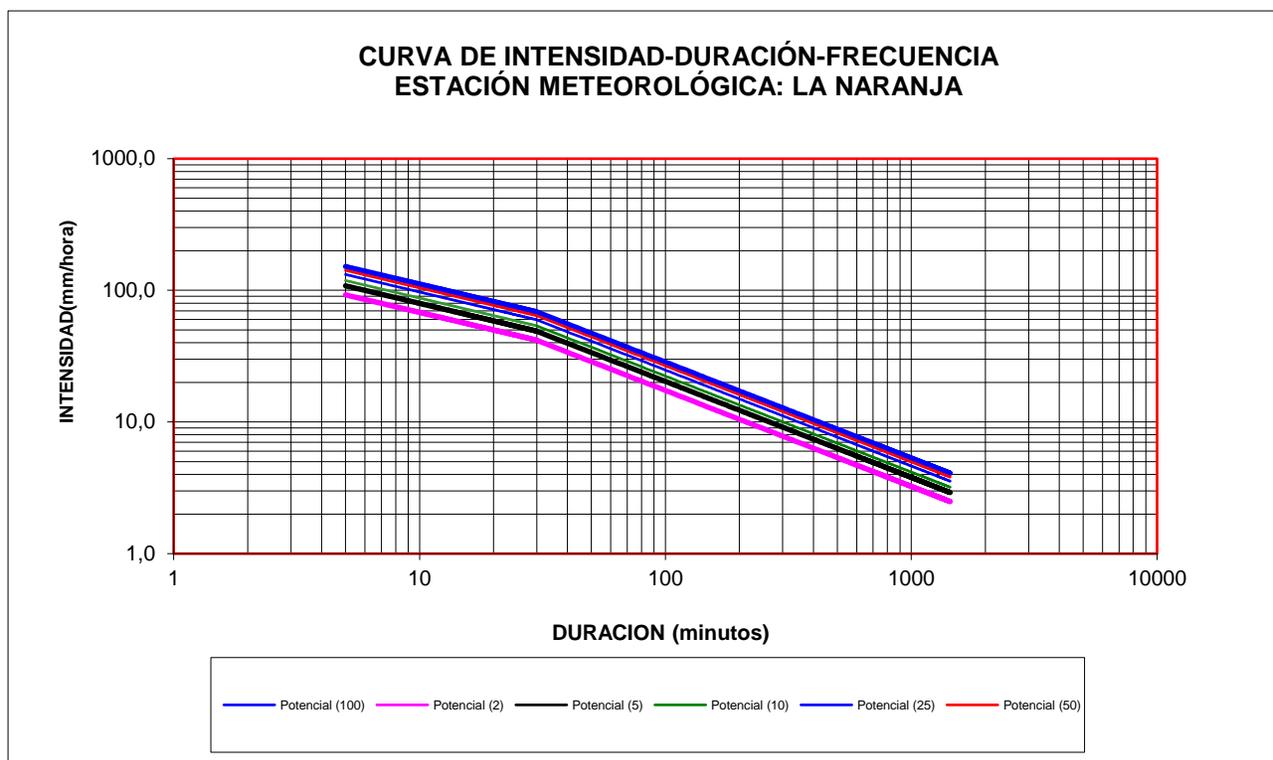


Ilustración 52. Curva IDF estación M0159

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 14. Precipitaciones máximas estación M0166

TABLA # M0166									
ESTACION METEOROLÓGICA: OLMEDO-MANABI									
TR	PRECIPITACIONES MAXIMAS EN mm								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	14,9	23,0	29,1	40,4	51,1	61,3	81,4	98,1	117,4
5	19,1	29,5	37,3	51,7	65,4	78,5	104,2	125,7	150,3
10	21,4	33,0	41,8	58,0	73,3	88,0	116,9	141,0	168,6
25	24,0	37,0	46,9	65,0	82,2	98,6	130,9	157,9	188,9
50	25,7	39,7	50,2	69,7	88,1	105,7	140,3	169,3	202,5
100	27,3	42,1	53,3	74,0	93,5	112,2	149,0	179,7	215,0
1000	38,8	59,9	75,8	105,1	132,9	159,4	211,7	255,4	305,4

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

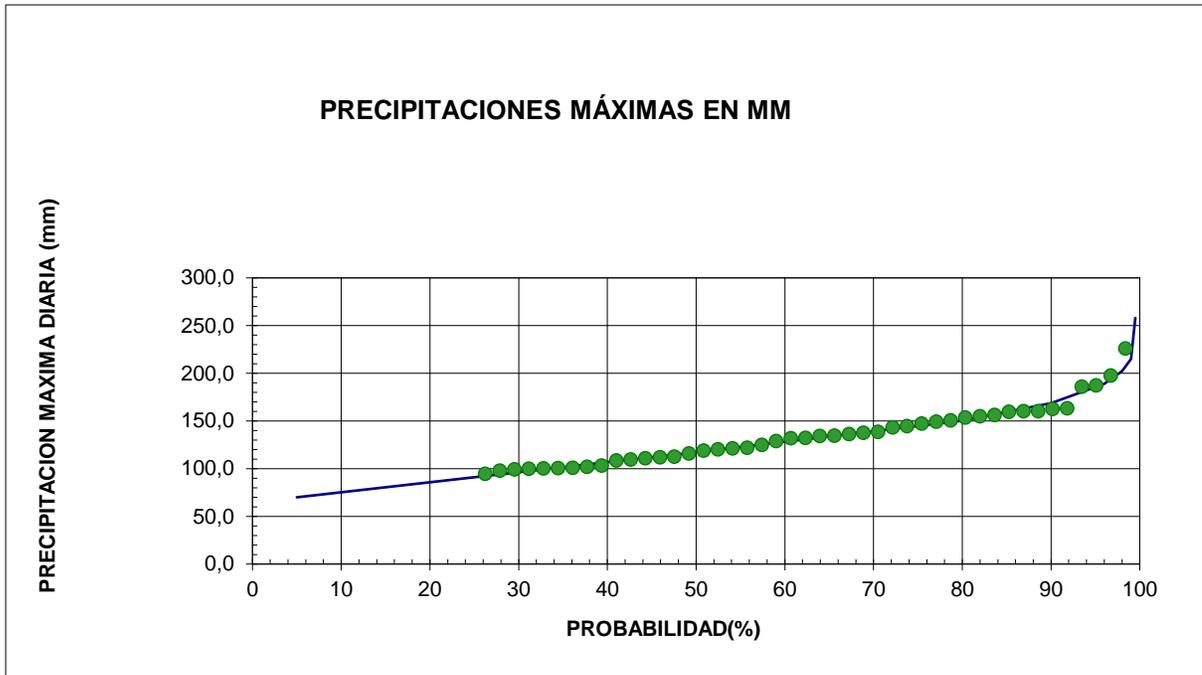


Ilustración 53. Precipitaciones máximas estación M0166

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

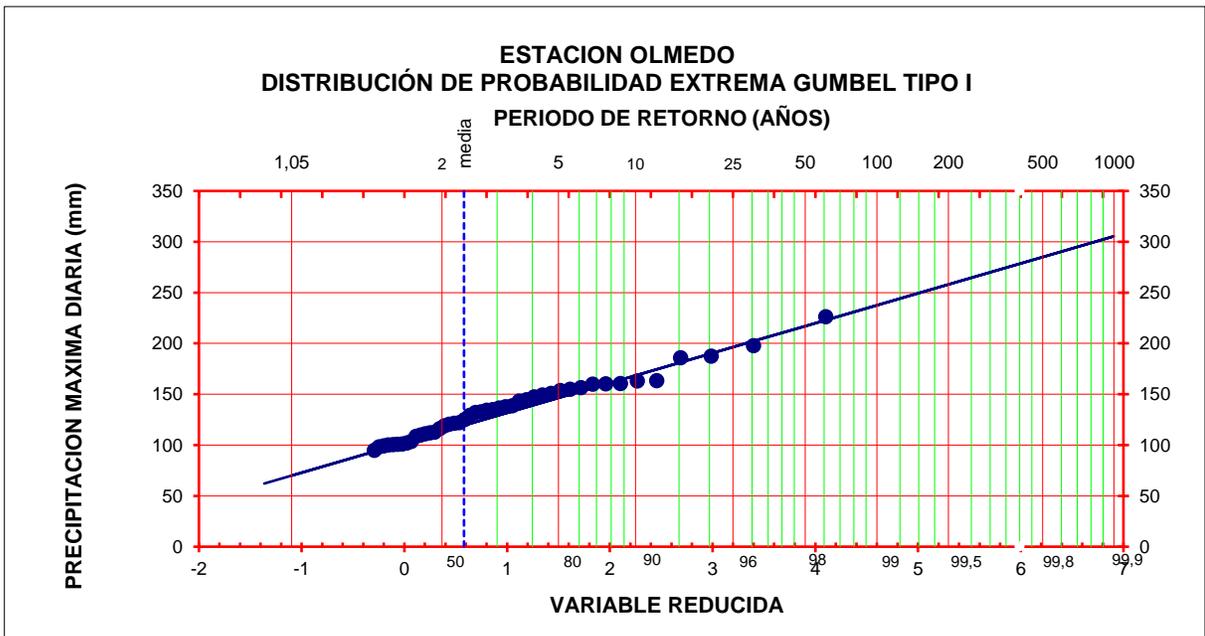


Ilustración 54. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

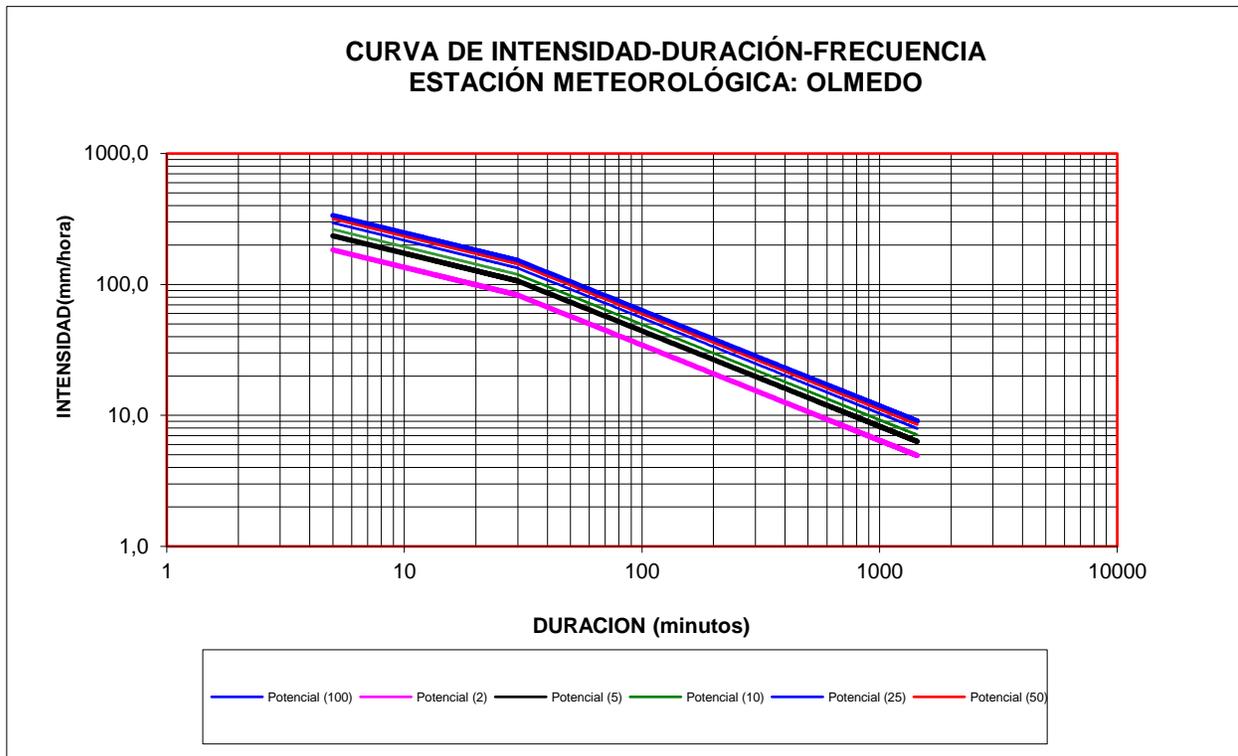


Ilustración 55. Curva IDF estación M0166

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 15. Precipitaciones máximas estación M0171

TABLA # M0171									
ESTACION METEOROLÓGICA: CAMPOSANO #2									
TR	PRECIPITACIONES MAXIMAS EN mm								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	11,0	17,0	21,6	29,9	37,8	45,4	60,3	72,7	87,0
5	13,7	21,1	26,8	37,1	46,9	56,3	74,8	90,2	107,9
10	15,5	23,9	30,2	41,9	52,9	63,5	84,3	101,7	121,7
25	17,7	27,3	34,5	47,9	60,5	72,6	96,4	116,3	139,2
50	19,3	29,8	37,7	52,3	66,2	79,4	105,4	127,2	152,1
100	21,0	32,3	40,9	56,8	71,8	86,1	114,3	137,9	165,0
1000	26,4	40,7	51,5	71,4	90,3	108,3	143,8	173,5	207,5

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

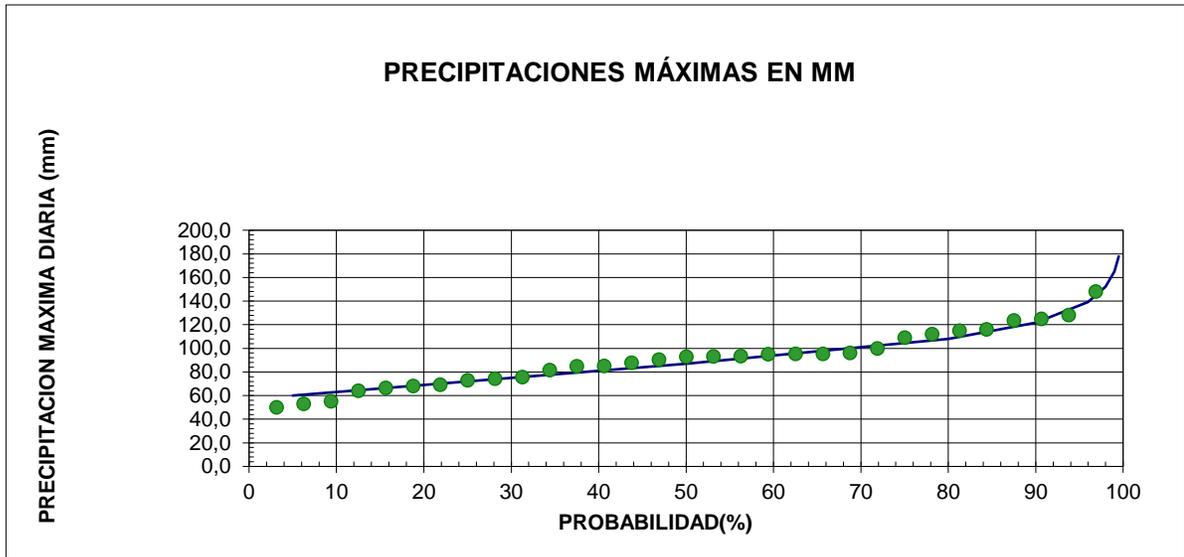


Ilustración 56. Precipitaciones máximas estación M0171

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

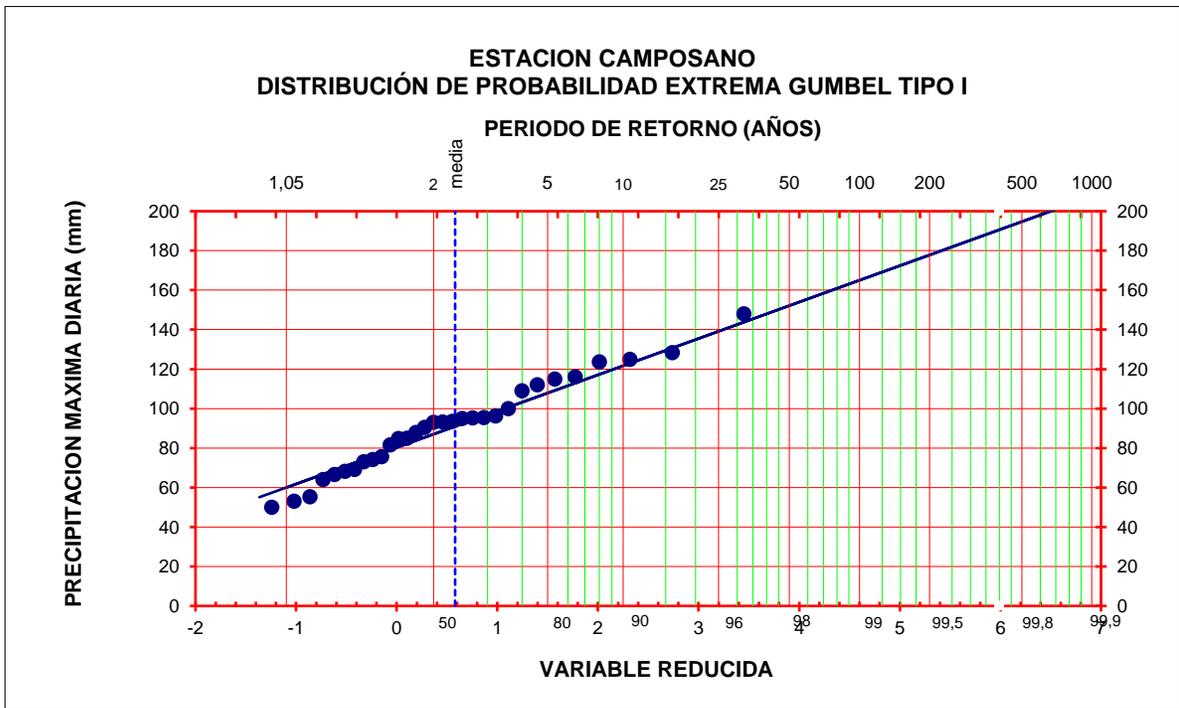


Ilustración 57. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

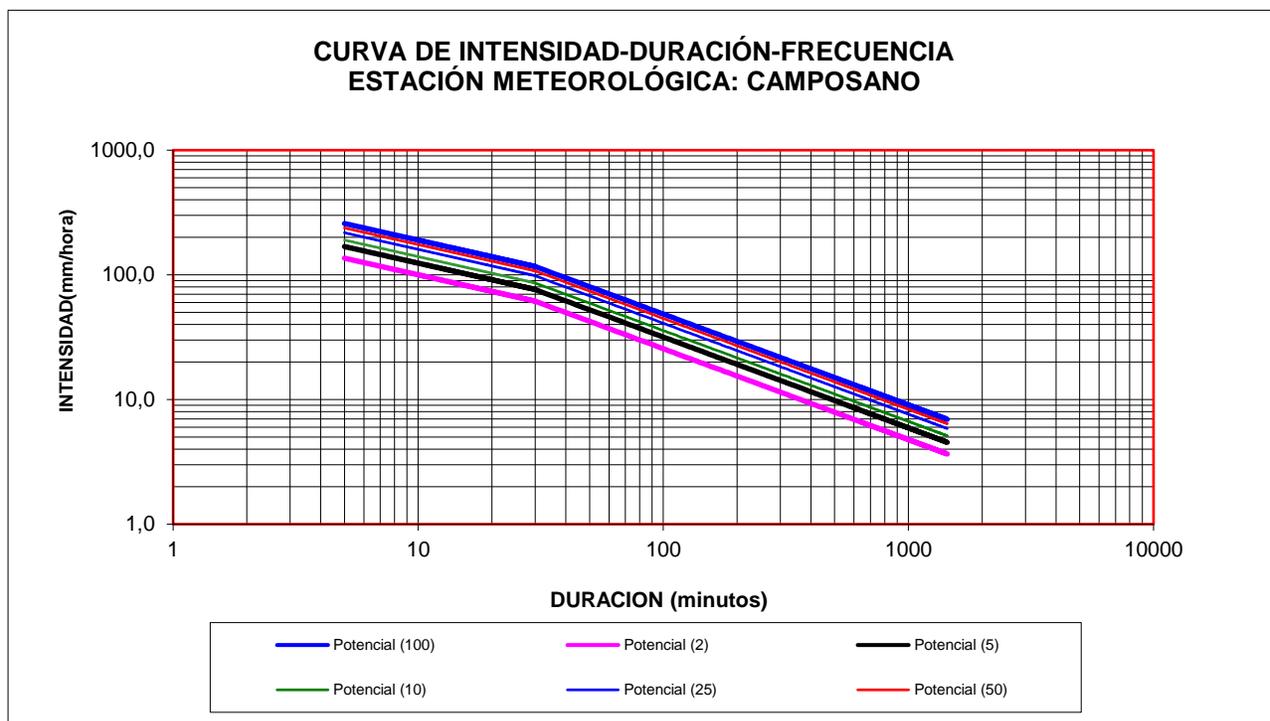


Ilustración 58. Curva IDF estación M0171

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 16. Precipitaciones máximas estación M0475

TABLA # M0475									
ESTACIÓN METEOROLÓGICA: COLIMES DE BALZAR INAMHI									
TR	PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN MM								
AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min	24 h
2	12,8	19,7	24,9	34,6	43,7	52,5	69,7	84,0	100,5
5	17,5	26,9	34,1	47,3	59,8	71,8	95,3	114,9	137,5
10	20,6	31,7	40,2	55,7	70,4	84,5	112,2	135,4	161,9
25	24,5	37,8	47,8	66,3	83,9	100,7	133,6	161,2	192,8
50	27,4	42,3	53,5	74,2	93,9	112,6	149,5	180,4	215,8
100	30,3	46,8	59,2	82,1	103,8	124,5	165,3	199,4	238,5
1000	39,8	61,5	77,8	107,9	136,5	163,8	217,4	262,3	313,8

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

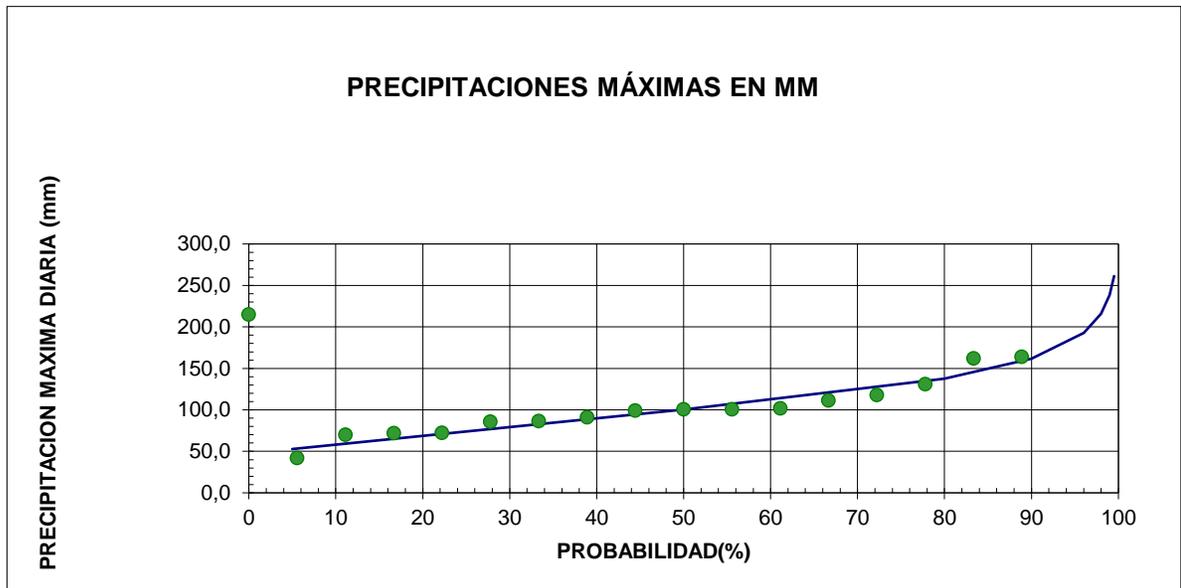


Ilustración 59. Precipitaciones máximas estación M0475

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

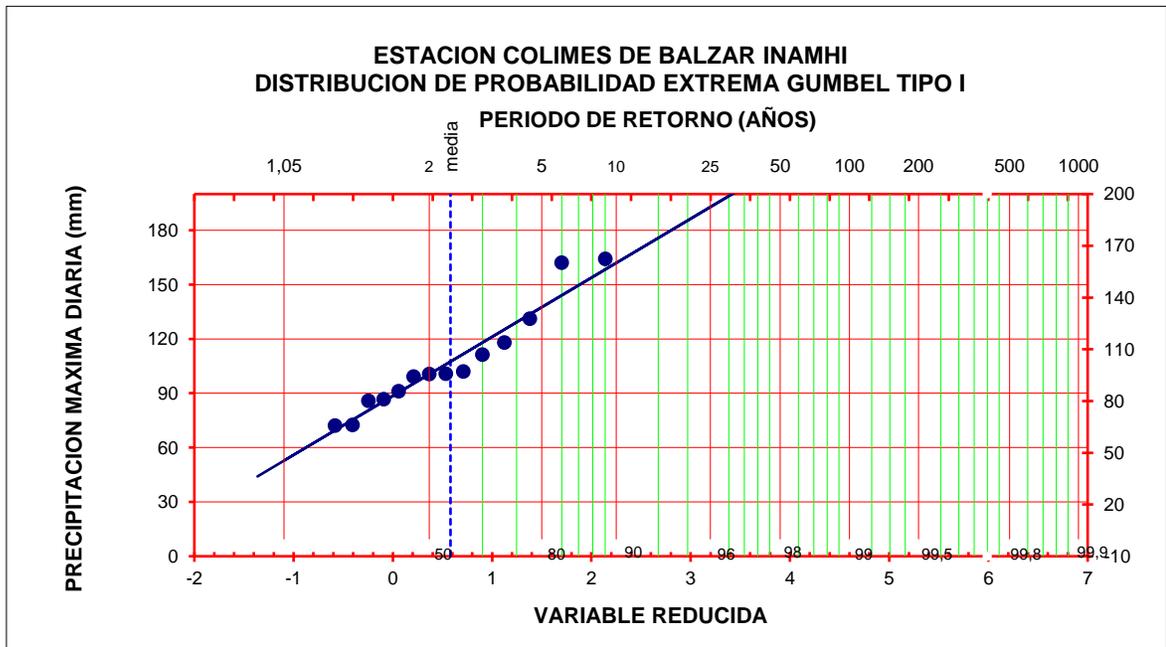


Ilustración 60. Distribución De Probabilidad Extrema Gumbel Tipo I

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

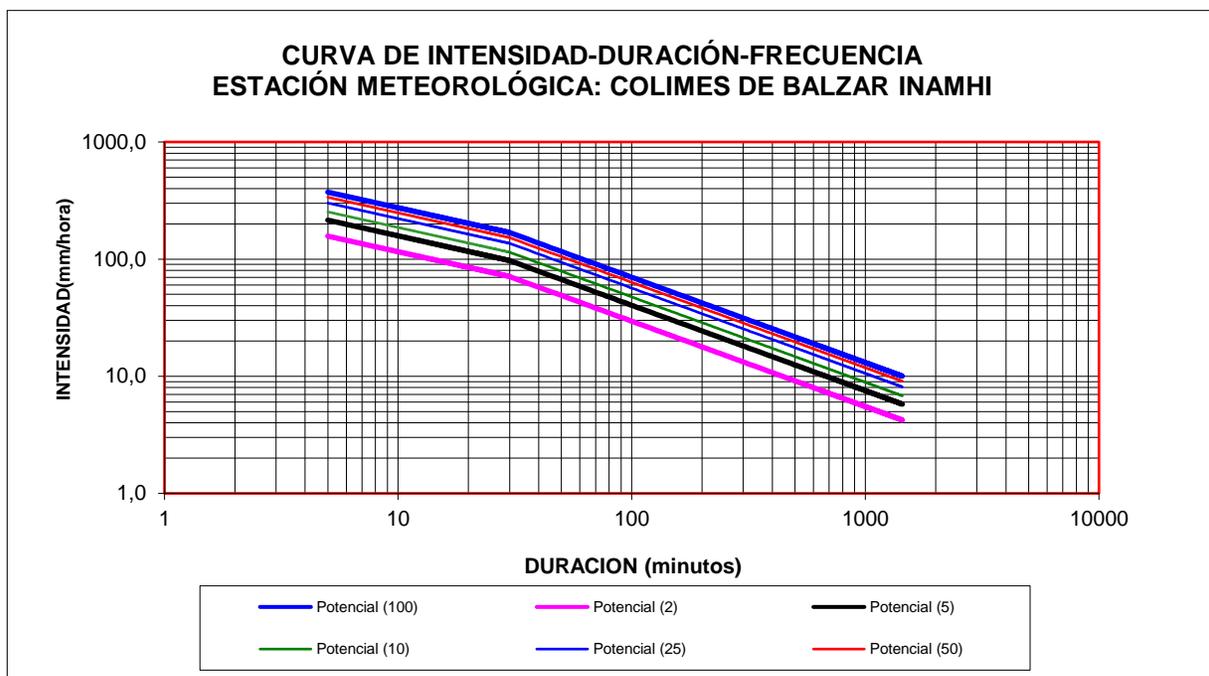


Ilustración 61. Curva IDF estación M0475

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

Tabla 17. Resumen de tiempo de retorno

RESUMEN DE TIEMPO DE RETORNOS POR ESTACION							
CODIGO	NOMBRE	TR_2	TR_5	TR_10	TR_25	TR_50	TR_100
MO171	CAMPOSANO #2	87	107.9	121.7	139.2	152.1	165
M0166	OLMEDO-MANABI	117.4	150.3	168.6	188.9	202.5	215
M159	LA NARANJA	59.1	69.3	76	84.5	90.8	97
M0408	ALAJUELA (DAULE PERIPA)	99.9	128.7	147.7	171.7	189.6	207.3
M0006	PICHILINGUE	112.8	139	156.4	178.3	194.6	210.8
MO005	PORTOVIEJO-UTM	53.4	81.2	99.6	122.9	140.3	157.3
MO464	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	80.1	107.9	119.6	139.4	154.1	168.8

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La información pluviométrica analizada proviene de 10 estaciones meteorológicas ubicadas en la costa ecuatoriana, distribuidas dentro o en las proximidades de la zona de estudio principal.

Los registros abarcan el período comprendido entre 1990 y 2013, con una cobertura de datos completa que varía entre 10 y 24 años, utilizados en la evaluación correspondiente.

La regionalización de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para el Río Puca permite un entendimiento más detallado de los patrones de precipitaciones extremas en la región. Mediante la aplicación de métodos estadísticos y herramientas de análisis espacial, se logró interpolar la información registrada en las estaciones meteorológicas hacia áreas circundantes.

Esto constituye una herramienta valiosa para la planificación hídrica. Sin embargo, los datos disponibles presentan una cantidad significativa de valores ausentes, que abarcan períodos que van desde meses hasta años completos sin registros. Esta carencia en la cobertura de datos afecta negativamente la confiabilidad de los análisis hidrológicos, lo que subraya la necesidad de implementar procedimientos más rigurosos y exhaustivos en el manejo y validación de la información.

Dichos procedimientos son fundamentales para garantizar la calidad y la fiabilidad de los resultados obtenidos, minimizando el riesgo de conclusiones erróneas o imprecisas debido a la incompletitud de los datos.

5.2 RECOMENDACIONES

Debemos ampliar la cobertura temporal de los datos de precipitación, especialmente para los períodos de retorno más largos, con el fin de mejorar la precisión y confiabilidad de las curvas IDF (al mayor registro histórico más exactitud en los resultados).

La obtención de un mayor número de años con registros completos permitirá una estimación más robusta de las precipitaciones extremas, reflejando mejor las variabilidades climáticas de largo plazo. Además, debido a la presencia de valores faltantes en los datos utilizados, es fundamental implementar técnicas avanzadas de interpolación y validación para completar las series temporales y garantizar la calidad de la información.

Este proceso es esencial para minimizar los errores asociados con la incompletitud de los datos y, en consecuencia, mejorar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Otro aspecto clave es la revisión periódica y actualización de los datos meteorológicos, lo que contribuirá a mantener las curvas IDF alineadas con las condiciones climáticas actuales.

Este proceso también permitirá adaptar los modelos a nuevas tendencias y asegurar que las decisiones tomadas en base a estos análisis sean pertinentes y precisas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ward, R. C., & Robinson, M. (2000). Principles of Hydrology (4th ed.). McGraw-Hill.
2. Ahrens, C. D. (2015). Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment (11th ed.). Cengage Learning.
3. Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J. (2016). The Atmosphere: An Introduction to Meteorology (13th ed.). Pearson.
4. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2013). Manual de Meteorología.
5. Pike, R. J. (2000). Geomorphometry: A digital terrain modeling approach. In D. F. M. Smith & D. A. R. (Eds.), The Geography of the Future (pp. 179-194). Springer.
6. Walkenbach, J. (2015). Excel 2016 Power Programming. Wiley.
7. Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press.
8. Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In Proceedings of the 23rd ACM National Conference (pp. 517-524).
9. Fundación Aquae. (2022). ¿Cuánta agua dulce hay en el planeta? Fundación Aquae.
10. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020). Informe sobre el estado de los recursos hídricos en el mundo 2020: Agua y cambio climático. ONU-Agua.

11. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (s.f.). Mapa de Ecuador: estaciones meteorológicas, hidrológicas, división regiones y cuencas. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI,2009).
12. Cardona, B. L. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.
13. Instituto del Agua. (n.d.). Importancia del ciclo hidrológico en la hidrología. Instituto del Agua.
14. GISGeography. (2023). Inverse distance weighting (IDW) interpolation.
15. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (n.d.). Misión y visión del INAMHI.
16. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (n.d.). Rol del INAMHI en la gestión del agua y cambio climático.
17. Becerra Oviedo, J. A., Sánchez Mazorca, L. F., Acosta Castellano, P. M., & Díaz Arévalo, J. L. (2023). Regionalización de curvas IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos en la Sabana Occidental del departamento de Cundinamarca. Ingeniería y Región.
18. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2006). Anuarios meteorológicos. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).
19. CRED. (2021). EM-DAT: The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.

20. OMM. (2021). Atlas de mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970-2019). Organización Meteorológica Mundial.
21. Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). Atlas de mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970-2019). Ginebra, Suiza: OMM.
22. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2020). Anuario hidrológico del Ecuador. Quito, Ecuador: INAMHI.
23. Campos Aranda, D. F. (1998). Análisis estadístico de series hidrológicas. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
24. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (s.f.). Análisis regional hidrológico combinando avenida índice y pruebas estadísticas.
25. Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). Atlas de mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970-2019). Ginebra, Suiza: OMM.
26. Cadena SER. (2024, 9 de septiembre). Las olas de calor e inundaciones afectarán ya al 70% de la población mundial en los próximos 20 años, según nuevo estudio científico.
27. Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR). (2013). Informe de gestión de riesgos e inundaciones en la provincia del Guayas. Quito, Ecuador: SGR.

28. Coles, S. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. London: Springer.
29. Brutsaert, W. (2005). Hydrology: An introduction. Cambridge: Cambridge University Press.
30. UNESCO. (2018). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para el agua.

ANEXOS

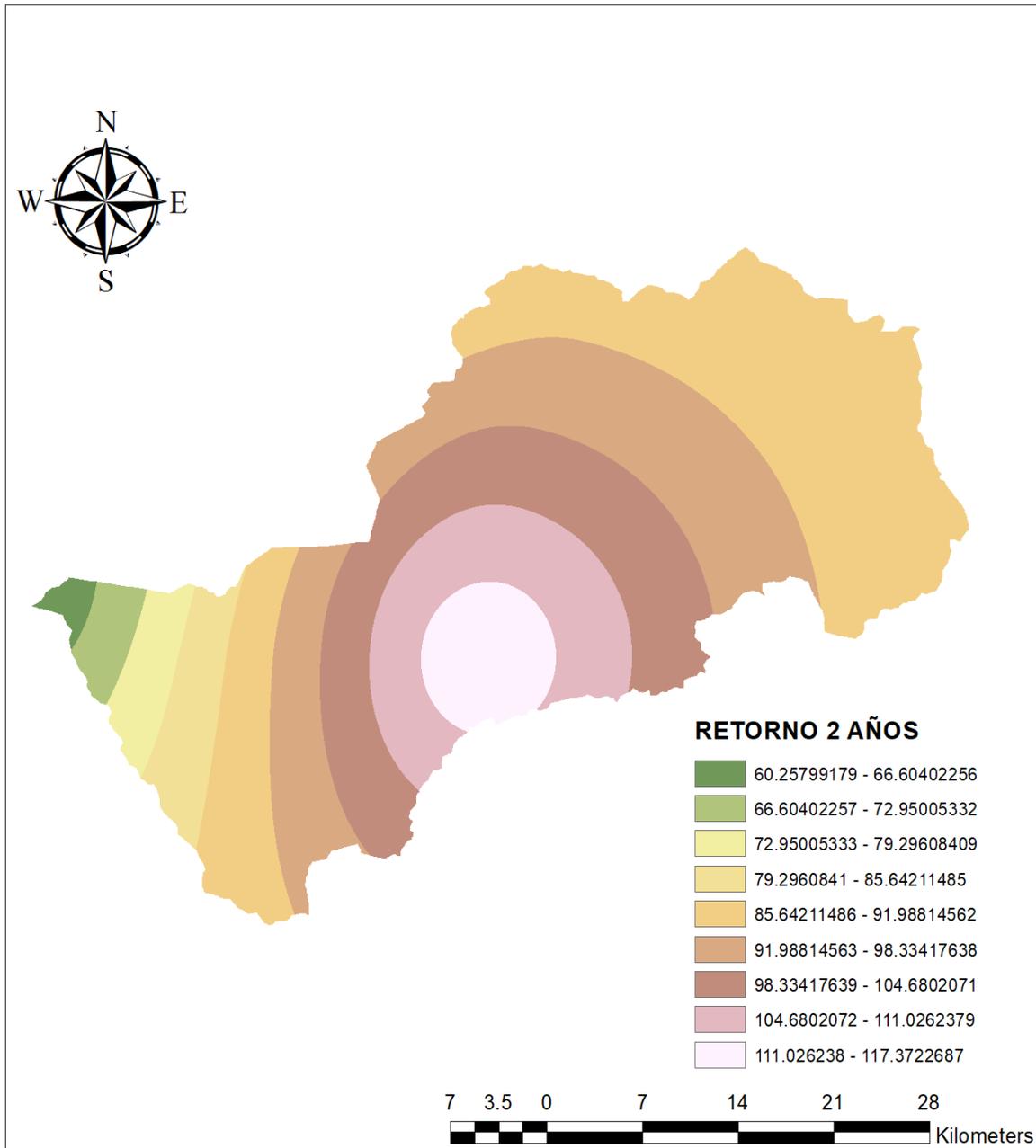


Ilustración 62. Mapa regionalizado retorno de 2 años con el método de kriging

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

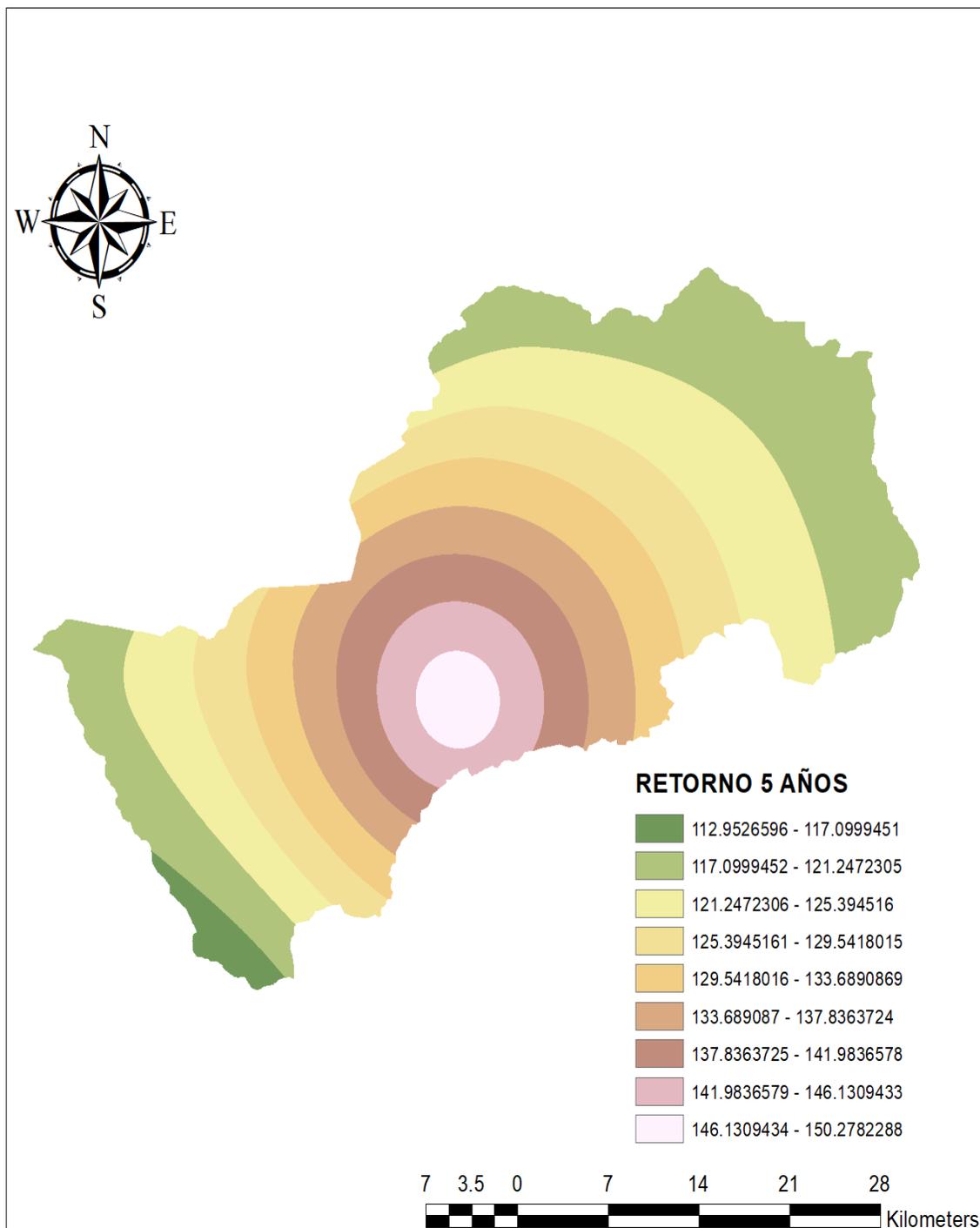


Ilustración 63. Mapa regionalizado retorno de 5 años con el método de kriging

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

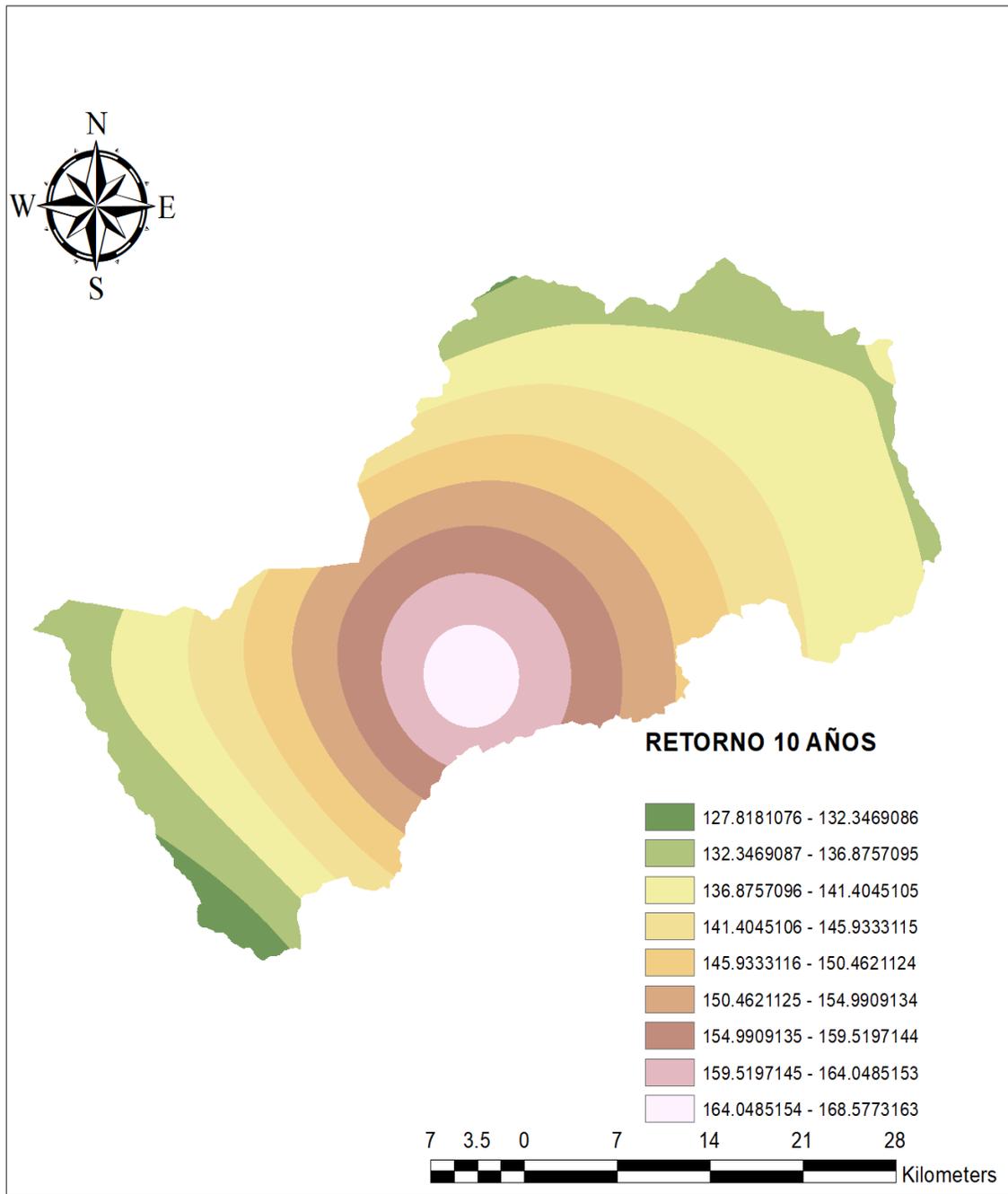


Ilustración 64. Mapa regionalizado retorno de 10 años con el método de kriging

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

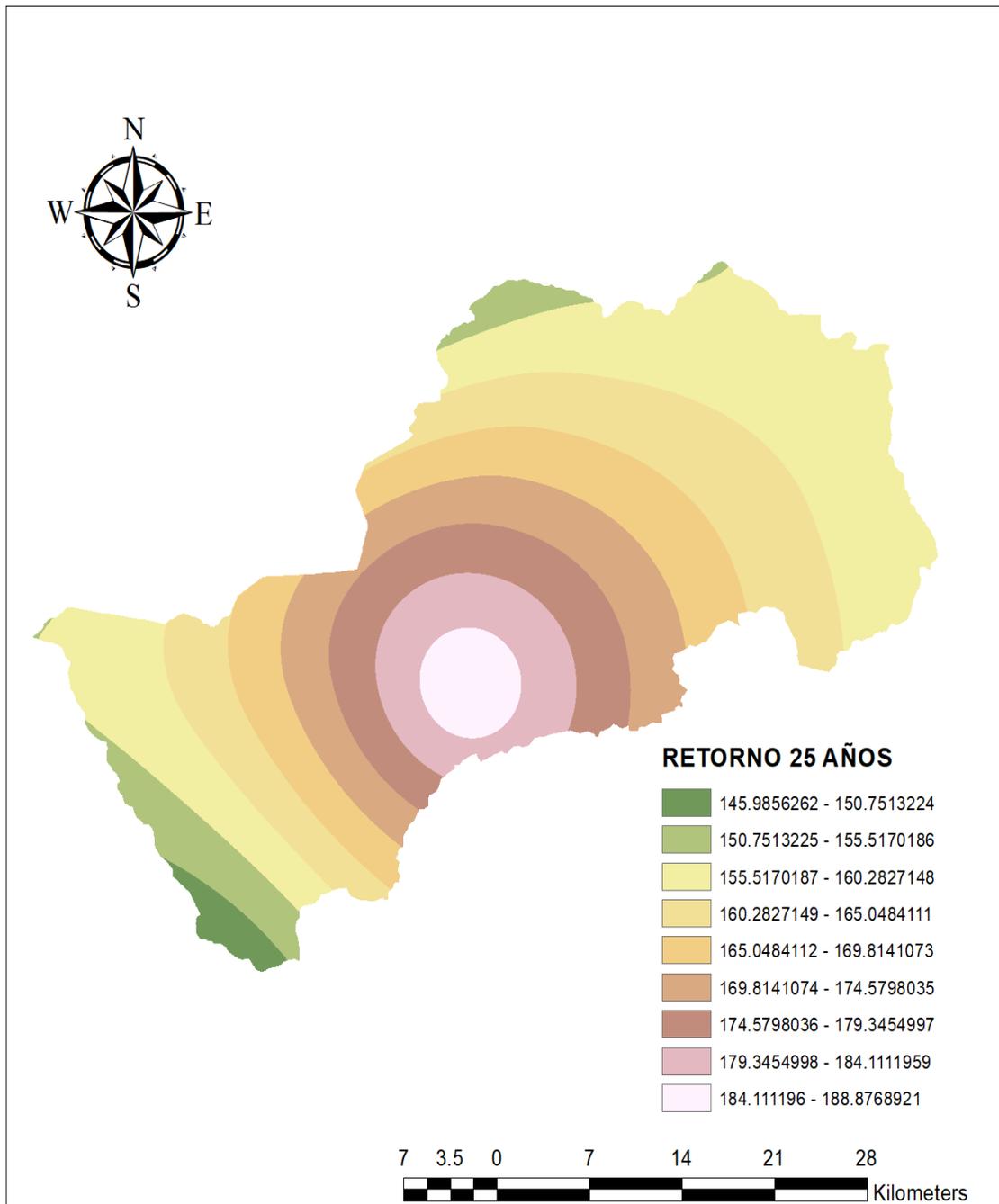


Ilustración 65. Mapa regionalizado retorno de 25 años con el método de kriging

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

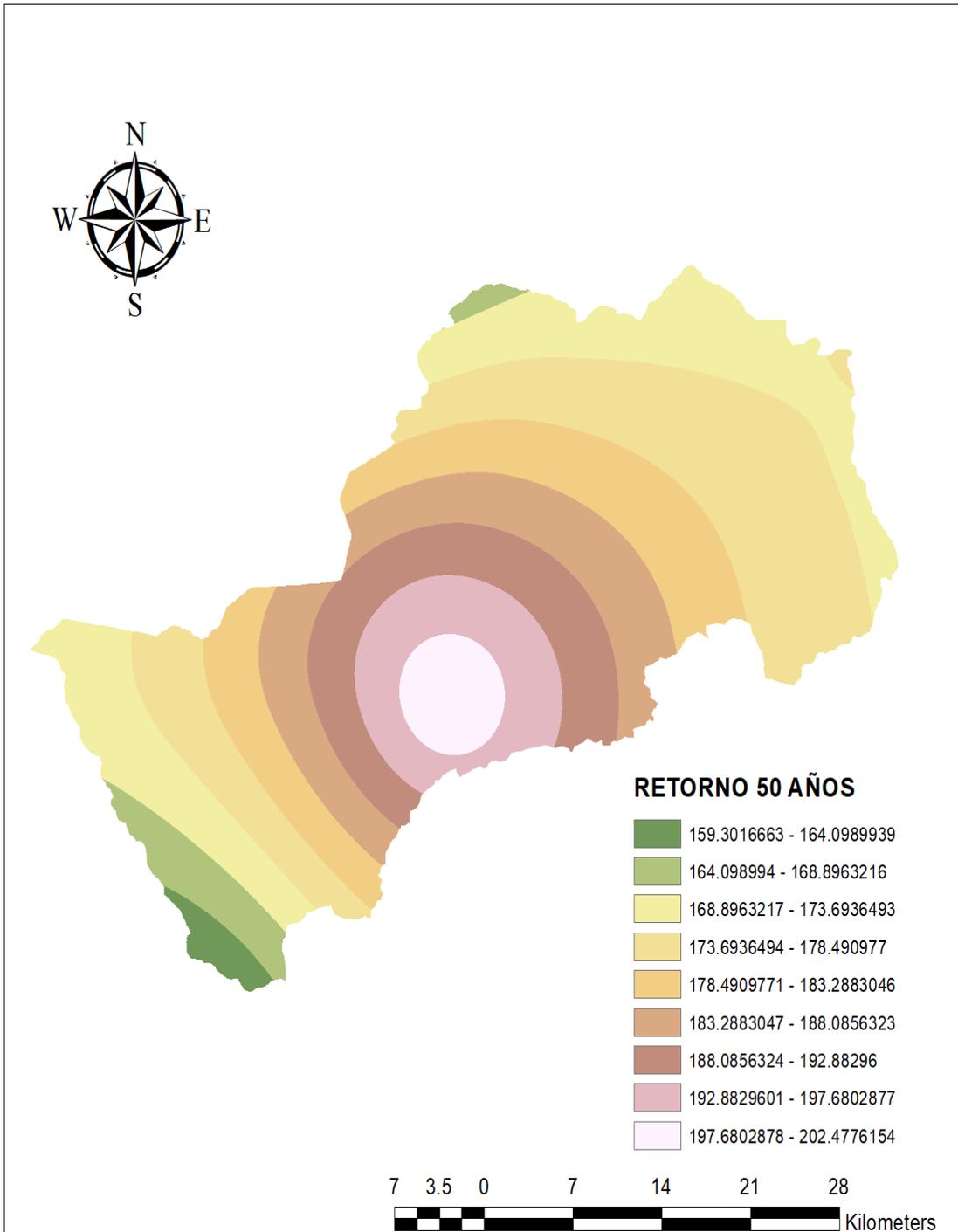


Ilustración 66. Mapa regionalizado retorno de 50 años con el método de kriging

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada

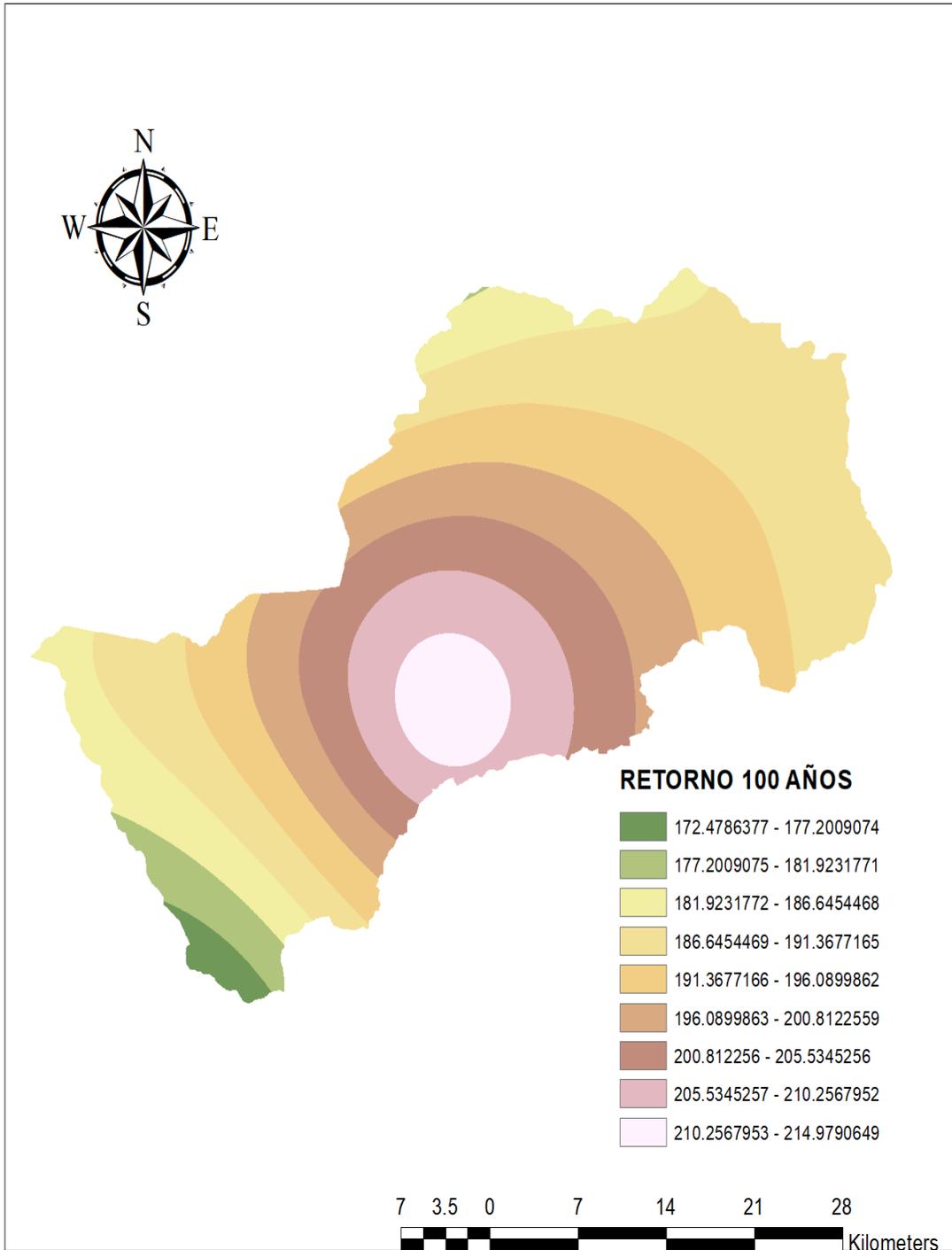


Ilustración 67. Mapa regionalizado retorno de 100 años con el método de kriging

Elaborado por: Ivan Corrales y Jean Quezada