



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN
EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES**

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

**AUTOR: RODRIGO EDUARDO VÉLEZ REDROVÁN, CARLOS
DANIEL VERDUGO TENESACA**

**DIRECTOR: ING. GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE
LARRIVA, MSC.**

AZOGUES - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN
EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES**

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

**AUTOR: RODRIGO EDUARDO VÉLEZ REDROVÁN, CARLOS
DANIEL VERDUGO TENESACA**

**DIRECTOR: ING. GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE
LARRIVA, MSC.**

AZOGUES - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Rodrigo Eduardo Vélez Redrován portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0302968433. Declaro ser el autor de la obra: “**Estudio hidrológico para factibilidad de un embalse en la ciudad de Azogues**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **23 de febrero de 2023**

F:

Rodrigo Eduardo Vélez Redrován

C.I. 0302968433

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Carlos Daniel Verdugo Tenesaca portador(a) de la cédula de ciudadanía N^o 0302802020. Declaro ser el autor de la obra: “Estudio hidrológico para factibilidad de un embalse en la ciudad de Azogues”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, 23 de febrero de 2023

F: 

Carlos Daniel Verdugo Tenesaca

C.I. 0302802020

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN-
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

**ING. GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE LARRIVA MSc.
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Estudio hidrológico para factibilidad de un embalse de agua en la ciudad de Azogues**", realizado por: **Rodrigo Eduardo Vélez Redrován, Carlos Daniel Verdugo Tenesaca**, con documentos de identidad: **0302968433, 0302802020**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 09 de febrero de 2023.



Ing. Goethe Emmanuel Palomeque Larriva MSc.
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre Alexandra, quien siempre me ayudo en todo lo que estuvo a su alcance, quien ha sido mi apoyo incondicional y el pilar fundamental de mi vida, gracias por inspirarme a culminar esta etapa; a mi padre Ramón, quien a pesar de la distancia siempre supo apoyarme y ayudarme a cumplir esta meta; a mi hermana Paula por su cariño, apoyo y compañía en todo momento, y muchas veces por ser la inspiración a seguir adelante; a mi abuela Mayi por ser la persona que sin importar las condiciones siempre creyó en mi, por inculcarme un ejemplo de esfuerzo y por su paciencia en cada minuto de este trayecto; a mi tíos Jorge y Rodrigo, quienes me inculcaron el amor por la construcción y han sido un claro ejemplo de valentía y perseverancia en mi vida. En última instancia dedico este trabajo a mis amigos David, Xavi, Marie y Mishell, quienes me han apoyado y siempre confiaron en mi.

Rodrigo Vélez

Quiero dedicar esta tesis primeramente a Dios, quién gracias a su bendición e infinito amor me ha dado la salud y fuerza necesaria que me han permitido llegar hasta aquí. A mis padres Carlos y Leonor que siempre han estado apoyándome a lo largo de la carrera, ya que sin su apoyo, paciencia y esfuerzo no hubiese sido posible alcanzar este objetivo. A mis hermanas Maricela y Elizabeth por su cariño y apoyo incondicional en todo mi trayecto estudiantil. A mis abuelos Antonio, Violeta, Olmedo y Zoila por el gran amor que me han demostrado durante toda mi vida, de manera especial a mi abuelo Olmedo a quién le hubiese encantado verme culminar la carrera pero por designios de Dios ya no me acompaña. Finalmente a toda mi familia, amigos y amigas que siempre han estado conmigo apoyándome de una u otra forma.

Daniel Verdugo

Agradecimiento

Un agradecimiento a las personas que nos han apoyado e inspirado en la etapa universitaria, a nuestras familias, compañeros, amigos y docentes que recorrieron junto a nosotros este trayecto, en especial al ingeniero Goethe Palomeque, tutor del presente proyecto, quien supo con paciencia guiarnos en estos meses y confió en nosotros para realizar la presente tesis.

A la Universidad de Cuenca campus Azogues, por acogernos todo nuestro periodo universitario siendo un lugar donde pasamos varios años, volviéndose nuestra segunda casa; y a la empresa EMAPAL-EP, a sus autoridades, quienes apoyaron y compartieron información para la ejecución del proyecto.

Resumen

Este estudio presenta una estrategia de abastecimiento de agua en la ciudad de Azogues, a través de un análisis hidrológico para el desarrollo de un embalse de manera que su almacenamiento sea capaz de abastecer a la zona urbana y rural; para ello se partió delimitando la cuenca de los sectores de Molobog y Llaucay por medio de un software SIG, así mismo, se analizó el número de curva de cada cuenca con el objetivo de aplicar el proceso de elección multicriterio AHP, dando como más favorable a Molobog.

El balance hídrico se determinó a partir de un volumen de escurrimiento obtenido en el software HEC-HMS empleando la metodología SCS con hietogramas de diseño determinados por dos metodologías, tanto el de bloques alternos como el triangular; además se realizó el análisis de la evapotranspiración potencial por el método propuesto por Thornthwaite y se consideró un caudal ecológico del 10 % con respecto al caudal medio mensual, obtenido así el volumen de acumulación mensual en el embalse; proponiendo un embalse que posea una altura de 45m que será capaz de abastecer un 20 % de la demanda requerida.

Palabras clave: Análisis hidrológico, balance hídrico, cuenca, abastecimiento, embalse

Abstract

Through a hydrological analysis, this study presents a strategy for water supply in Azogues city: the construction of a reservoir that supplies water to the urban and rural areas, for this the basin of the Molobog and Llaucay sectors was delimited utilizing GIS software. Likewise, the number of the curve of each basin was analyzed to apply the AHP multicriteria election process, where Molobog resulted to be the most favorable.

The water balance was based on a runoff volume through the HEC-HMS software using the SCS methodology with design hyetograms determined by two procedures: alternating and triangular blocks. In addition, the analysis of potential evapotranspiration was conducted using the method proposed by Thornthwaite. An ecological flow of 10 % was considered concerning the average monthly flow, thus obtaining the monthly accumulation volume of water, presenting a 45m height reservoir that will supply 20 % of the required demand.

Keywords: Supply, hydrological analysis, water balance, basin, reservoir

Índice general

1. Introducción	17
1.1. Planteamiento del problema	18
1.1.1. Formulación del problema	18
1.1.2. Delimitación del problema	18
1.2. Justificación	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
2. Marco teórico	21
2.1. Generalidades	21
2.2. Sistemas de información geográfica	22
2.3. Hidrología	22
2.3.1. Cuenca hidrográfica	22
2.3.2. Modelos de distribución estadística	25
2.3.3. Curva intensidad-duración-frecuencia	27
2.3.4. Hietograma de diseño	29
2.4. Evapotranspiración	31
2.4.1. Ecuación de Thornthwaite	31
2.5. Balance hidrológico	32
2.6. Modelización hidrológica	32
2.6.1. HEC-HMS	33
2.7. Análisis de decisiones multicriterio	35
2.7.1. Proceso analítico jerárquico (AHP)	35
2.8. Población Futura	37
3. Marco Metodológico	39
3.1. Información cartográfica	40
3.2. Delimitación de la cuenca	40
3.3. Características morfométricas	41
3.4. Número de curva	41

3.5. Elección multicriterio AHP	41
3.6. Tiempo de retardo	43
3.7. Curva IDF	43
3.8. Hietograma de Diseño	44
3.9. Modelización hidrológica	44
3.10. Evapotranspiración potencial	45
3.11. Balance hídrico de la cuenca	46
3.12. Proyecciones poblacionales	46
3.13. Caudal de consumo	47
3.14. Capacidad de almacenamiento del embalse	48
4. Resultados	50
4.1. Aspectos morfométricos	50
4.2. Número de curva	52
4.3. Análisis multicriterio AHP	54
4.4. Análisis de precipitación	56
4.5. Tormenta de diseño	61
4.6. Modelización hidrológica	63
4.7. Evapotranspiración	64
4.8. Balance hídrico	65
4.9. Crecimiento poblacional	69
4.10. Demanda de la población	69
4.11. Capacidad de almacenamiento de la presa	70
4.12. Análisis de resultados	72
5. Conclusiones	79
6. Bibliografía	81
7. Anexos	88

Índice de tablas

2.1. Valores críticos Δ_0 [17].	26
2.2. Ecuaciones para determinar el tiempo de concentración.	34
3.1. Datos históricos de la población.	47
3.2. Dotación de la zona urbana proyectadas [57].	48
4.1. Características morfométricas de la cuenca en el sector Molobog.	51
4.2. Características morfométricas de la cuenca en el sector Llaucay.	52
4.3. Cobertura SIG TIERRAS (Molobog).	53
4.4. Cobertura INF. CARTOGRÁFICA (Molobog).	53
4.5. Cobertura EMAPAL (Molobog).	53
4.6. Cobertura SIG TIERRAS (Llaucay).	54
4.7. Cobertura INF.CARTOGRÁFICA (Llaucay).	54
4.8. Cobertura EMAPAL (Llaucay).	54
4.9. Comparación de criterios.	55
4.10. Comparación de alternativas de acuerdo a C1.	55
4.11. Comparación de alternativas de acuerdo a C2.	55
4.12. Comparación de alternativas de acuerdo a C3.	55
4.13. Comparación de alternativas de acuerdo a C4.	55
4.14. Comparación de alternativas de acuerdo a C5.	55
4.15. Peso total.	56
4.16. Precipitación máxima estimada para el mes de abril.	57
4.17. Precipitación máxima estimada para el mes de septiembre.	57
4.18. Intensidad máxima para distintos meses.	58
4.19. Precipitación pico de los hietogramas.	63
4.20. Resultados de la modelización hidrológica.	64
4.21. Evapotranspiración potencial obtenida en una hoja de cálculo.	64
4.22. Evapotranspiración potencial obtenida en un software de manejo de SIG.	65
4.23. Evapotranspiración potencial del área de estudio.	65
4.24. Punto de muestras para la medición del caudal.	68

4.25. Caudal ecológico a considerar.	68
4.26. Volumen de agua determinado en el balance hídrico.	68
4.27. Población futura por el método de crecimiento geométrico.	69
4.28. Volumen a captar requerido para el consumo de la población.	70
4.29. Volumen de almacenamiento acumulado de cada abscisa.	71
4.30. Caudal del río aguas abajo de la captación.	77
4.31. Comparación del número de habitantes en el año 2030.	77
7.1. Clasificación de acuerdo al coeficiente de compacidad [11].	88
7.2. Clasificación de acuerdo al factor de forma [11].	88
7.3. Clasificación de cuencas de acuerdo a la pendiente [11].	89
7.4. Relación de precipitación máxima verdadera y precipitación en inter- valos [15].	89
7.5. Escala de preferencia [41].	90
7.6. Índice aleatorio de inconsistencia [41].	90
7.7. Ponderación de criterios.	90
7.8. Ponderación de las alternativas de acuerdo a C1.	90
7.9. Ponderación de las alternativas de acuerdo a C2.	91
7.10. Ponderación de las alternativas de acuerdo a C3.	91
7.11. Ponderación de las alternativas de acuerdo a C4.	91
7.12. Ponderación de las alternativas de acuerdo a C5.	91
7.13. Precipitación obtenida del pluviometro en Condoryacu.	92
7.14. Distribuciones probabilísticas para el mes de enero.	98
7.15. Distribuciones probabilísticas para el mes de febrero.	99
7.16. Distribuciones probabilísticas para el mes de marzo.	100
7.17. Distribuciones probabilísticas para el mes de abril.	101
7.18. Distribuciones probabilísticas para el mes de mayo.	102
7.19. Distribuciones probabilísticas para el mes de junio.	103
7.20. Distribuciones probabilísticas para el mes de julio.	104
7.21. Distribuciones probabilísticas para el mes de agosto.	105
7.22. Distribuciones probabilísticas para el mes de septiembre.	106
7.23. Distribuciones probabilísticas para el mes de octubre.	107
7.24. Distribuciones probabilísticas para el mes de noviembre.	108
7.25. Distribuciones probabilísticas para el mes de diciembre.	109
7.26. Precipitación máxima estimada para el mes de enero.	110
7.27. Precipitación máxima estimada para el mes de febrero.	110
7.28. Precipitación máxima estimada para el mes de marzo.	110
7.29. Precipitación máxima estimada para el mes de mayo.	111
7.30. Precipitación máxima estimada para el mes de junio.	111

7.31. Precipitación máxima estimada para el mes de julio.	111
7.32. Precipitación máxima estimada para el mes de agosto.	112
7.33. Precipitación máxima estimada para el mes de octubre.	112
7.34. Precipitación máxima estimada para el mes de noviembre.	112
7.35. Precipitación máxima estimada para el mes de diciembre.	113
7.36. Valores precipitación para el mes de enero.	125
7.37. Valores precipitación para el mes de febrero.	126
7.38. Valores precipitación para el mes de marzo.	127
7.39. Valores precipitación para el mes de abril.	128
7.40. Valores precipitación para el mes de mayo.	129
7.41. Valores precipitación para el mes de junio.	130
7.42. Valores precipitación para el mes de julio.	131
7.43. Valores precipitación para el mes de agosto.	132
7.44. Valores precipitación para el mes de septiembre.	133
7.45. Valores precipitación para el mes de octubre.	134
7.46. Valores precipitación para el mes de noviembre.	135
7.47. Valores precipitación para el mes de diciembre.	136
7.48. Resultados de la regresión lineal múltiple para enero.	137
7.49. Resultados de la regresión lineal múltiple para febrero.	137
7.50. Resultados de la regresión lineal múltiple para marzo.	137
7.51. Resultados de la regresión lineal múltiple para abril.	137
7.52. Resultados de la regresión lineal múltiple para mayo.	137
7.53. Resultados de la regresión lineal múltiple para junio.	138
7.54. Resultados de la regresión lineal múltiple para julio.	138
7.55. Resultados de la regresión lineal múltiple para agosto.	138
7.56. Resultados de la regresión lineal múltiple para septiembre.	138
7.57. Resultados de la regresión lineal múltiple para octubre.	138
7.58. Resultados de la regresión lineal múltiple para noviembre.	138
7.59. Resultados de la regresión lineal múltiple para diciembre.	139
7.60. Datos del hietograma de bloques alternos para enero.	156
7.61. Datos del hietograma triangular para enero.	157
7.62. Datos del hietograma de bloques alternos para febrero.	158
7.63. Datos del hietograma triangular para febrero.	159
7.64. Datos del hietograma de bloques alternos para marzo.	160
7.65. Datos del hietograma triangular para marzo.	161
7.66. Datos del hietograma de bloques alternos para abril.	162
7.67. Datos del hietograma triangular para abril.	163
7.68. Datos del hietograma de bloques alternos para mayo.	164
7.69. Datos del hietograma triangular para mayo.	165

7.70. Datos del hietograma de bloques alternos para junio.	166
7.71. Datos del hietograma triangular para junio.	167
7.72. Datos del hietograma de bloques alternos para julio.	168
7.73. Datos del hietograma triangular para julio.	169
7.74. Datos del hietograma de bloques alternos para agosto.	170
7.75. Datos del hietograma triangular para agosto.	171
7.76. Datos del hietograma de bloques alternos para septiembre.	172
7.77. Datos del hietograma triangular para septiembre.	173
7.78. Datos del hietograma de bloques alternos para octubre.	174
7.79. Datos del hietograma triangular para octubre.	175
7.80. Datos del hietograma de bloques alternos para noviembre.	176
7.81. Datos del hietograma triangular para noviembre.	177
7.82. Datos del hietograma de bloques alternos para diciembre.	178
7.83. Datos del hietograma triangular para diciembre.	179

Índice de figuras

2.1. Curva hipsométrica en función de la edad del cauce [12].	24
2.2. Curva IDF de la estación Paute.	27
2.3. Ejemplo de hietograma bloques alternos.	29
2.4. Ejemplo de hietograma triangular.	30
2.5. Balance hidrológico.	32
2.6. Metodo AHP.	36
3.1. Zona de estudio propuesta para la construcción del embalse escala 1:100 000.	39
3.2. Alineamiento creado en el software AutoCAD Civil 3D	49
4.1. Delimitación de la cuenca Molobog escala 1:40 000.	50
4.2. Curva hipsométrica de la cuenca en el sector de Molobog.	51
4.3. Delimitación de la cuenca Llaucay escala 1:20 000.	52
4.4. Modelos de distribución para el mes de abril.	56
4.5. Modelos de distribución para el mes de septiembre.	57
4.6. Curvas IDF para el mes de abril.	59
4.7. Curvas IDF para el mes de septiembre.	60
4.8. Tormenta de diseño para el mes de abril.	61
4.9. Tormenta de diseño para el mes de septiembre.	62
4.10. Zona propuesta para la construcción del embalse; escala 1:1000.	66
4.11. Perfil topográfico de la zona de estudio.	66
4.12. Área de inundación para una presa de 45 metros de altura; escala 1:1250.	67
4.13. Perfil longitudinal de la zona de embalse.	71
4.14. Balance hídrico para la presa de 45m de altura.	76
4.15. Demanda de agua requerida para el área urbana y rural.	78
7.1. Modelos de distribución para el mes de enero.	93
7.2. Modelos de distribución para el mes de febrero.	93
7.3. Modelos de distribución para el mes de marzo.	94
7.4. Modelos de distribución para el mes de mayo.	94

7.5. Modelos de distribución para el mes de junio.	95
7.6. Modelos de distribución para el mes de julio.	95
7.7. Modelos de distribución para el mes de agosto.	96
7.8. Modelos de distribución para el mes de octubre.	96
7.9. Modelos de distribución para el mes de noviembre.	97
7.10. Modelos de distribución para el mes de diciembre.	97
7.11. Curvas IDF para el mes de enero.	114
7.12. Curvas IDF para el mes de febrero.	115
7.13. Curvas IDF para el mes de marzo.	116
7.14. Curvas IDF para el mes de mayo.	117
7.15. Curvas IDF para el mes de junio.	118
7.16. Curvas IDF para el mes de julio.	119
7.17. Curvas IDF para el mes de agosto.	120
7.18. Curvas IDF para el mes de septiembre.	121
7.19. Curvas IDF para el mes de octubre.	122
7.20. Curvas IDF para el mes de noviembre.	123
7.21. Curvas IDF para el mes de diciembre.	124
7.22. Ecuación de I_{max} para enero por Software HidroEsta.	139
7.23. Ecuación de I_{max} para febrero por Software HidroEsta.	140
7.24. Ecuación de I_{max} para marzo por Software HidroEsta.	140
7.25. Ecuación de I_{max} para abril por Software HidroEsta.	141
7.26. Ecuación de I_{max} para mayo por Software HidroEsta.	141
7.27. Ecuación de I_{max} para junio por Software HidroEsta.	142
7.28. Ecuación de I_{max} para julio por Software HidroEsta.	142
7.29. Ecuación de I_{max} para agosto por Software HidroEsta.	143
7.30. Ecuación de I_{max} para septiembre por Software HidroEsta.	143
7.31. Ecuación de I_{max} para octubre por Software HidroEsta.	144
7.32. Ecuación de I_{max} para noviembre por Software HidroEsta.	144
7.33. Ecuación de I_{max} para diciembre por Software HidroEsta.	145
7.34. Tormenta de diseño para el mes de enero.	146
7.35. Tormenta de diseño para el mes de febrero.	147
7.36. Tormenta de diseño para el mes de marzo.	148
7.37. Tormenta de diseño para el mes de mayo.	149
7.38. Tormenta de diseño para el mes de junio.	150
7.39. Tormenta de diseño para el mes de julio.	151
7.40. Tormenta de diseño para el mes de agosto.	152
7.41. Tormenta de diseño para el mes de octubre.	153
7.42. Tormenta de diseño para el mes de noviembre.	154
7.43. Tormenta de diseño para el mes de diciembre.	155

Sección 1

Introducción

El servicio de agua potable de la ciudad de Azogues presenta déficit en la dotación en épocas de estiaje provocando que sus habitantes no dispongan de un servicio continuo, a su vez carece de estrategias que solventen el abastecimiento a la población una vez concluido el Plan Maestro de Agua Potable que posee una vigencia hasta el año 2030. La creación de nuevas estrategias permitirá el suministro constante a la población en las próximas décadas contribuyendo al desarrollo de la ciudad.

El presente trabajo involucra la recopilación de distintos aspectos ingenieriles como demográficos, topográficos, hidrológicos, así como procesos de elección multicriterio; los mismos que serán analizados empleando diferentes herramientas digitales, cuyo objeto será la generación de una estrategia que se fundamenta en la construcción de un embalse en el área intangible de Filomena - Molobog Chico, perteneciente la parroquia Guapán, Cantón Azogues, cuya área fue adquirida por parte de La Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues (EMAPAL-EP).

A través de un proceso investigativo y práctico se realizará un análisis hidrológico que permitirá conocer la cantidad de agua almacenada durante un año; para ello se considerarán aspectos de precipitación e infiltración que serán analizados mediante el uso de un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) para delimitar la cuenca, conjuntamente con el software HEC-HMS para obtener la simulación hidrológica de la zona estudiada.

Un vez concluido el trabajo se pretende estimar la cantidad de agua que almacenará durante cada uno de los meses con el propósito de conocer si la misma es capaz de abastecer a la población de Azogues, a su vez se conocerá la factibilidad de la construcción de la presa en Molobog y se podrá aportar al futuro Plan Maestro de Agua Potable de la ciudad.

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Formulación del problema

La ciudad de Azogues cuenta con un deficiente servicio de agua potable a sus pobladores, debido a que el sistema de abastecimiento actual no cuenta con una estrategia que permita una dotación constante, lo que a su vez genera cortes del servicio causando inconvenientes en la calidad de vida y el desarrollo socio-económico de la ciudad por la ausencia del recurso agua, siendo necesario la generación de nuevas estrategias que permitan lograr un sistema más eficiente que solviente esta necesidad.

Azogues carece de una estrategia que garantice el abastecimiento de agua a la población en los próximos años, si bien cuenta con un Plan Maestro de Agua Potable desarrollado por parte de EMAPAL EP que pretende asegurar el servicio a los habitantes, sin embargo, la estrategia presenta una pronta caducidad, es decir, posee una vigencia hasta el año 2030, debido a esto surge la necesidad de generar nuevas prácticas que ayuden con el suministro de agua a la población en el futuro.

1.1.2. Delimitación del problema

El presente trabajo se sustenta en la propuesta generada por EMAPAL EP, misma que se enfoca en la generación de una estrategia para el almacenamiento y suministro de agua en los próximos años para la ciudad de Azogues, para lo cual es fundamental tratar diferentes aspectos demográficos, estadísticos, estructurales, hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geotécnicos, topográficos, sociales, económicos, entre otros; sin embargo, debido a la magnitud del proyecto la investigación se va a enfocar principalmente en aspectos demográficos, estadísticos e hidrológicos.

El siguiente trabajo constará de un proceso investigativo y práctico, el cual pretende llegar a estimar la cantidad de agua que se pueda almacenar a lo largo de un año, teniendo en cuenta efectos de precipitación en un embalse con el propósito de verificar la posibilidad de abastecer de agua potable a la ciudad de Azogues cumpliendo con la normativa para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.

1.2. Justificación

El hecho de que la ciudad no cuente con un sistema eficiente de suministro de agua, es fundamental plantear posibles programas que solvente la necesidad del servicio a la sociedad, de ahí una de las posibles respuestas es la construcción de una estructura hidráulica capaz de reservar agua que pueda ser utilizada para solventar la escasez del recurso en épocas de estiaje, y a su vez la demanda del servicio debido al crecimiento poblacional que tendrá Azogues en las próximas décadas.

El motivo de la presente investigación se origina en el hecho de poder desarrollar estrategias sustentables que permitan brindar un suministro de agua potable continuo en épocas de estiaje a la ciudad de Azogues, ya que disponer de un sistema de abastecimiento eficaz es primordial para el desarrollo de la sociedad, por tal razón, es esencial que la ciudad cuente con un programa que permita el abastecimiento continuo en la actualidad, con el objetivo de seguir brindado a la localidad un servicio eficiente para continuar con el progreso de la ciudad.

La importancia de solventar esta problemática radica en el hecho de tener programas de respaldo que garanticen la continuidad del servicio de agua en el futuro, para lo cual se demostrará si la cantidad de agua almacenada puede abastecer a la población, en caso de no ser viable se podrá descartar la estrategia como una posible solución para el abastecimiento futuro de la ciudad, no obstante, si es favorable este estudio podrá ser el fundamento para la continuación del proyecto del embalse en Molobog, y a su vez contribuir como una estrategia más en el futuro Plan Maestro de Agua Potable de la ciudad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Generar una estrategia de abastecimiento de agua en la ciudad de Azogues mediante el análisis hidrológico para el desarrollo de un embalse que permita el almacenamiento de agua, con el propósito de solventar la dotación de agua futura.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información demográfica, topográfica, hidrológica y geológica de la zona de estudio con un reconocimiento y revisión de mapas geológicos para

conocer las características físicas del sector.

- Realizar una elección multicriterio mediante el método de proceso analítico jerárquico (AHP) entre las zonas de Molobog y Llaucay con la finalidad de determinar la mejor alternativa para la construcción del embalse.
- Generar curvas intensidad, duración y frecuencia implementando datos de precipitación mensuales a través de la metodología Dick & Peschke para la generación de hietogramas de diseño.
- Desarrollar un modelo de simulación hidrológica con el software HEC-HMS con el objetivo de conocer el caudal pico y volumen de precipitación de agua que circulará a lo largo de un año.
- Verificar la factibilidad de la estrategia a través de un balance hidrológico con el fin de comprobar que el agua almacenada pueda satisfacer la demanda de la ciudad de Azogues.

Sección 2

Marco teórico

2.1. Generalidades

Las sociedades a lo largo de la historia se han desarrollado cercanas a fuentes de agua, siendo el recurso hídrico uno de los más importantes en el crecimiento social y económico, pero a su vez delimitado por la disponibilidad [1]. Es por ello, que en la creación de nuevas estrategias para el suministro de agua potable es importante conocer el tipo de fuente del recurso, los cuales pueden ser:

- **Fuentes subterráneas**, las cuales se originan por la infiltración de un porcentaje de la lluvia en el suelo,
- **Fuentes superficiales**, estas se encuentran conformadas por arroyos, lagos, ríos, entre otros; y son parte de la precipitación no infiltrada [2].

Con el propósito de reservar el servicio agua para la población de Azogues en periodos de sequía se propone una obra de captación como lo es un embalse, el cual se define como un depósito de agua generado por la obstaculización total o parcial del flujo de agua superficial, los principales propósitos de este es emplear el volumen de agua retenido en el abastecimiento o en la producción de energía hidroeléctrica [3]. La importancia de la retención radica en proporcionar un servicio eficiente en base a la demanda requerida por la población [4].

Una vez conocida la cantidad de agua acumulada en el embalse se procederá al abastecimiento, que se entiende como el suministro de agua a una población, mismo que es necesario para cubrir con varias de las necesidades de los miembros de la sociedad y de su desarrollo, considerando que el recurso hídrico debe contar con una calidad adecuada para no afectar a la salud [2]. Su distribución se lo realiza a través de un sistema de conducción, el cual se compone por una serie de elementos

hidráulicos (tuberías, válvulas, bombas, entre otros) que facilitan la provisión de agua a la localidad [3].

2.2. Sistemas de información geográfica

Una importante herramienta en el ámbito ingenieril en los últimos años para varios de los estudios del campo es la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), que analiza y visualiza problemas relacionados con la ubicación en ciencias geoespaciales, ciencias ambientales y gestión de recursos naturales usando la información de datos espaciales y atributos con distintas herramientas de análisis espacial [5]. Se establece que los modelados hidrológicos requieren una significativa cantidad de datos espaciales y temporales, de tal manera que los SIG facilitan su incorporación, siendo el uso de estos, a través de un software, indispensable en el análisis hidrológico [6].

2.3. Hidrología

Por otro lado, es necesario conocer acerca de una cuenca hidrográfica, que es un espacio delimitado a través del cual converge un sistema de drenaje natural del recurso hídrico por medio de ríos; la principal manera de conocer el afluente y la cantidad para la distribución de agua a las poblaciones es el balance hídrico, mediante información de precipitación obtenida por estaciones meteorológicas, el balance hídrico permite conocer la cantidad de caudal que circula en la red y como aumenta o disminuye a lo largo de un periodo de tiempo [7].

2.3.1. Cuenca hidrográfica

Cuenca hidrográfica se define al espacio en la corteza terrestre en la cual se produce el movimiento del recurso hídrico a través de un río principal hacia un punto de salida, su delimitación esta dada por la línea de unión de máximas alturas, conocida como parteaguas [8]; dentro de esta se pueden encontrar con subcuencas y microcuencas, siendo ambas unidades más pequeñas.

La cuenca hidrográfica requiere de un análisis morfométrico, este consiste en el estudio de una serie de variables entre las cuales comprenden la superficie, el perímetro, la forma, el relieve y el drenaje que posee la cuenca; todo ello permite poder

conocer las características físicas de la misma y, por lo tanto poder identificar las cuencas [9], es así que, en la tabla 1 de la investigación presentada por Barbosa [8], se puede conocer la clasificación que poseen las cuencas tomando en consideración el área que estas abarcan.

- Coeficiente de compacidad

Este factor también se conoce como índice de Gravelius, es la relación que existe entre los perímetros tanto de la cuenca como de un círculo semejante a la superficie de la cuenca como se indica en la ecuación 2.1, este valor es adimensional y mientras más cerca se encuentre a la unidad atribuirá una cuenca circular de manera que será más propensa a llevar caudales grandes [10]; es posible clasificar una cuenca tomando como referencia el coeficiente de compacidad, para lo cual, en la sección anexos se presenta la tabla 7.1.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

- Factor de forma

Hace referencia a la razón que existe entre el ancho promedio de la cuenca y su lado más largo, el ancho promedio hace referencia a la relación entre la superficie y la longitud de la cuenca, el factor se obtiene con la ecuación 2.2; este indica si la cuenca es más susceptible a tener crecientes por su alargamiento [11], clasificando a las cuencas como se indica en la tabla 7.2, sección anexos.

$$K_f = \frac{B}{L} = \frac{\frac{A}{L}}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (2.2)$$

- Curva hipsométrica

Con el análisis de la curva hipsométrica es posible poder caracterizar el relieve que posee la cuenca, ya que la misma representa la relación que existe entre la altitud que posee la cuenca y la superficie acumulada que posea cada una de las cotas, como se aprecia en la figura 2.1 [9].

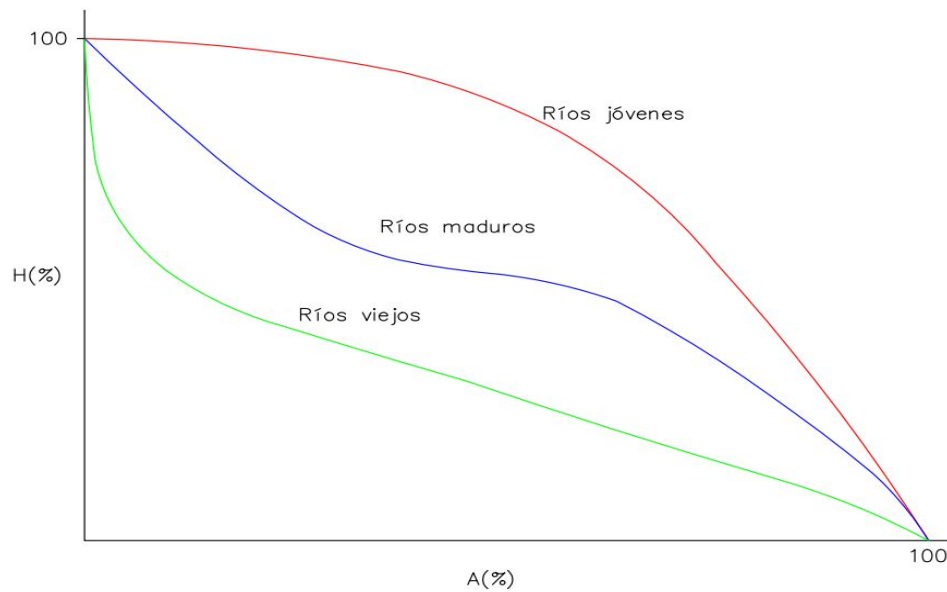


Figura 2.1: Curva hipsométrica en función de la edad del cauce [12].

- Elevación máxima y mínima

Dentro de una cuenca hidrográfica se tienen diferentes cotas, la cota más alta representara la elevación máxima y será el parteaguas de la cuenca; por otro lado la cota más baja representará la elevación mínima [8]

- Elevación media

La elevación media es la cambio altitudinal que posee la cuenca hidrográfica, de manera que se tenga la mitad del área de la cuenca por encima de esta y la otra mitad por debajo [10]. Esta característica afecta directamente en el ciclo hidrológico y el clima; pudiendo caracterizar las zonas [11].

Esta característica se puede estimar mediante la ecuación 2.3, para lo cual se suele representar la variación de alturas mediante una curva hipsométrica, esta gráfica representa las elevaciones de la cuenca en distintos tramos[11].

$$H_{med} = \frac{\sum a_i c_i}{A} \quad (2.3)$$

Donde A es el área total de la cuenca, a_i es el área entre tramos y c_i es la elevación media entre tramos.

- Pendiente media

La pendiente media es el cambio de inclinación obtenido mediante un promedio de las distintas pendientes que posee la cuenca [8]; de acuerdo con Rodriguez [10], Bar-

bosa [8] y Consorcio Pomca Quindio [11] esta característica posee relación directa con la magnitud de los tránsitos de flujo, a su vez también influye en el la erosión del suelo y sedimentación. De acuerdo al valor de la pendiente media se pueden clasificar a las cuencas de acuerdo a la tabla 7.3.

- Orden de corrientes

Este parámetro está asociado a la disposición geométrica de los ríos afluentes de la cuenca, de tal manera se puede clasificar al sistema de drenaje, estableciendo corrientes de orden uno, las cuales no poseen ramificaciones, corrientes orden dos las que son afluentes directos a las de orden uno, hasta tener corrientes de orden n , de acuerdo al número de ramificaciones del sistema [13].

2.3.2. Modelos de distribución estadística

La posibilidad de ocurrencia de una variable aleatoria representada mediante una función se le conoce como una distribución de probabilidad; si se implementa cualquiera de los modelos con datos de precipitación, se obtiene una representación más compacta de la muestra [14]. Estos modelos permitirán conocer de mejor manera eventos hidrológicos que pueden presentarse [15].

Existen una gran cantidad de funciones de densidad de probabilidad teóricas $f(x)$ que se implementan en la hidrología, de acuerdo con los estudios de Gómez, Aparicio y Patiño [16], Mondragon [15], Cuti [17] y Salazar [18] las más implementadas en este campo son las siguientes:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal 2 parámetros
- Distribución Log Normal 3 parámetros
- Distribución Gumbel
- Distribución Pearson tipo III
- Distribución Log Pearson tipo III

- Distribución Pareto

Esta distribución a pesar de no ser una de las mas conocidas es empleada en la hidrología para eventos de precipitaciones máximas anuales [19].

Prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov

Las pruebas de bondad de ajuste tiene como propósito verificar si la frecuencia que posee la muestra se ajusta a la función teórica elegida, es decir son comprobaciones de la certidumbre, las cuales pueden ser gráficas o estadísticas, dentro de estas se encuentra: error cuadrado mínimo, chi cuadrado y Smirnov-Kolmogorov [17].

La prueba Smirnov-Kolmogorov se basa en realizar una diferencia entre la función de probabilidad elegida y la probabilidad empírica como se indica en la ecuación 2.4, a través de la ecuación de Weibull $(\frac{m}{n+1})$; de manera que cada uno de los valores de la muestra sean cotejados entre si, eligiendo el valor máximo absoluto y comparándolo con los valores críticos de Δ_0 expresados en la tabla 2.1; si Δ es menor a Δ_0 el ajuste será bueno [20].

$$\Delta = |f(x) - P(x)| \tag{2.4}$$

Tabla 2.1: Valores críticos Δ_0 [17].

Tamaño de la muestra	Nivel de significancia		
	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
n>40	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Hydrognomon

Hydrognomon es un software de código abierto con licencia GPLv3 creado por el ITIA research group de la National Technical University of Athens implementada en la gestión, procesamiento y análisis de datos hidrológicos; esta herramienta posee instrumentos para la exploración de datos, el ajuste de la función de distribución, la previsión estadística, la simulación de Monte-Carlo, los límites de confianza, el análisis de extremos y la construcción de curvas IDF [21].

La herramienta "Pythia" permite estimar propiedades de muestras y los parámetros de ubicación, escala y forma de 27 distribuciones estadísticas, incluyendo el método de chi-cuadrado y Smirnov-Kolmogorov para el ajuste de datos [21].

2.3.3. Curva intensidad-duración-frecuencia

Un aspecto importante en estudios hidrológicos es el estudio de datos de precipitación, para lo cual es necesario reconocer los eventos de lluvia que se implementarán en el estudio, cuyo objetivo será obtener la precipitación máxima y poder predecirla, por lo cual es necesario evaluar la lluvia que cae en los pluviómetros [22]. Mayormente se suele ocupar tormentas de diseño, las cuales están asociadas a curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) del área [23].

Las curvas IDF son una distribución de distintos eventos de lluvia, en la cual se expresa las intensidades máximas que pueden ocurrir en distintas duraciones en varios eventos de retorno [24]. Siendo la intensidad la altura de agua lluvia registrada por unidad de tiempo; la duración representa el tiempo que permanece la precipitación y frecuencia al periodo de ocurrencia de esta, también conocido como periodo de retorno [23]. En la figura 2.2 se puede apreciar un ejemplo de curvas IDF de una estación pluviométrica en el sector de Paute.

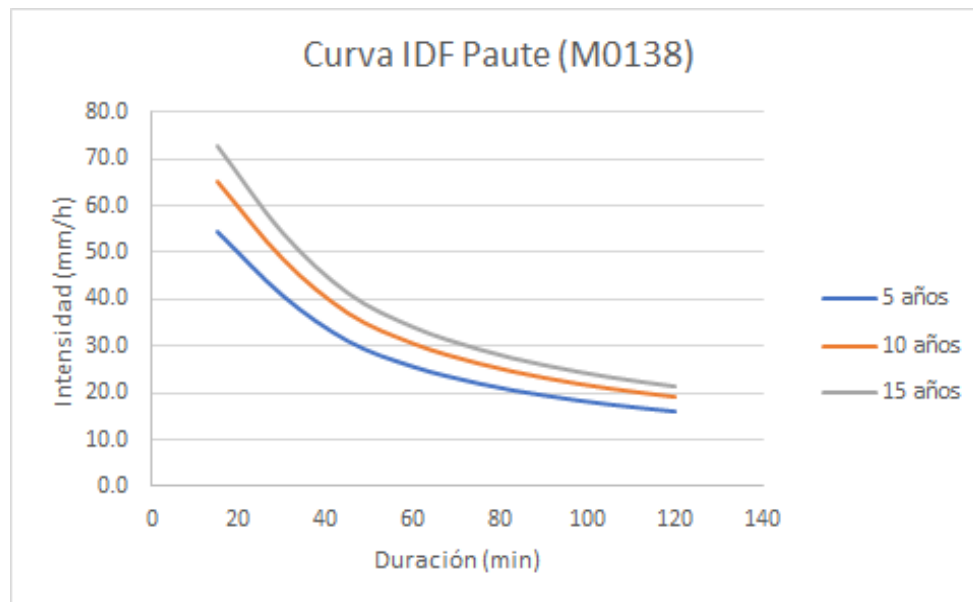


Figura 2.2: Curva IDF de la estación Paute.

Las curvas IDF se expresan de forma gráfica y mediante ecuaciones para facilitar la determinación del valor de la intensidad máxima, la expresión que representa una

curva IDF es la ecuación 2.5; donde las variables I_{max}, D y T son la intensidad en milímetros por hora, la duración en minutos y el periodo de recurrencia, el cual, se expresa en años; a su vez existen las constantes que pueden ser obtenidas por un proceso de regresión lineal m, n y k [25].

$$I_{max} = \frac{k T^m}{D^n} \quad (2.5)$$

Para la resolución de la ecuación, Bateman [22] establece el método de mínimos cuadrados o regresión lineal, de manera que al ser una ecuación potencial es necesario extraer logaritmos a cada lado de la ecuación y aplicar sus propiedades como se aprecia en la ecuación 2.6, y finalmente obtener la ecuación 2.7.

$$\log(i) = \log(K) + m \log(T) - n \log(D) \quad (2.6)$$

$$y = X_1 + m X_2 - n X_3 \quad (2.7)$$

Metodología Dick & Peschke

El modelo de Dick & Peschke es empleado con la finalidad de elaborar de curvas IDF a partir de datos de altura de lluvia máximos [23], relacionando lluvia máxima en 24 horas con la duración de la tormenta [26]; como se indica en la ecuación 2.8.

$$P_D = P_{24} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25} \quad (2.8)$$

En el que, P_D se refiere a la cantidad total de lluvia en mm; D representa la permanencia de lluvia en horas y P_{24} es la máxima lluvia en 24 horas en mm. Mon-dragon [15] indica que se debe realizar una corrección a la precipitación obtenida de los distintos periodos de retorno de acuerdo a la información obtenida en los pluviómetros, en la sección anexos se puede apreciar la tabla 7.4 donde se indica la relación de corrección de acuerdo a la información anotada por día.

HidroEsta

HidroEsta es un software que facilita el procesamiento, cálculos y análisis de información para estudios hidrológicos; esta herramienta simplifica el trabajar con datos en grandes cantidades de manera rápida y sencilla [27].

Entre sus principales funciones se encuentran: el cálculo de parámetros estadísticos por métodos tradicionales y momentos lineales; resolución de variables por regresión lineal, no lineal, polinomial, entre otros; evaluación de series de distribución; análisis de tormenta y cálculo de intensidades máximas [27].

2.3.4. Hietograma de diseño

El hietograma es la gráfica que representa el comportamiento de una tormenta en un intervalo de duración, se suele representar la intensidad o la altura de precipitación mediante barras a cada intervalo; mientras se tenga un intervalo pequeño se obtendrá una evolución de la tormenta más detallada [28].

Dentro de los métodos que usan curvas IDF para su desarrollo se encuentran los siguientes:

- Método de bloques alternos

El hietograma se construye en base a una tormenta con duración conocida repartidos en intervalos de tiempo; se estiman las intensidades o precipitaciones a partir de las curvas IDF en el periodo de retorno seleccionado, distribuyendo el bloque de mayor magnitud en el centro y los demás se sitúan de derecha a izquierda de forma decreciente [24] como se aprecia en la figura 2.3. Este método es uno de los más empleados por su sencillez y debe su nombre a la forma en la que se representa, también es conocido como Chicago Design Storm; las alturas de los bloques se obtienen mediante la ecuación 2.9 [29].

$$b_k = k * i(k * \Delta T) - \sum_1^{k-1} b_j \quad (2.9)$$

Donde k representa el número de bloques; $i(k * \Delta T)$ la intensidad de acuerdo a la curva IDF; y b_j la intensidad media del conjunto de bloques.

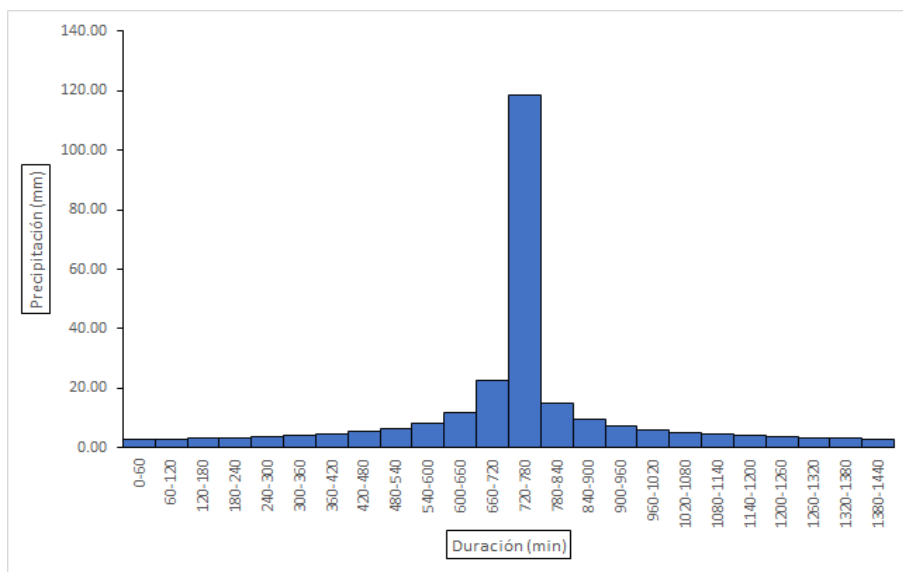


Figura 2.3: Ejemplo de hietograma bloques alternos.

■ Método triangular

Este método, al igual que el anterior, posee una construcción sencilla; conociendo la permanencia de la tormenta que distribuye la intensidad de la tormenta o lluvia en forma triangular, las mismas que son obtenidas a partir de curvas IDF de interés [24]. En la figura 2.4 se puede apreciar un ejemplo de este hietograma.

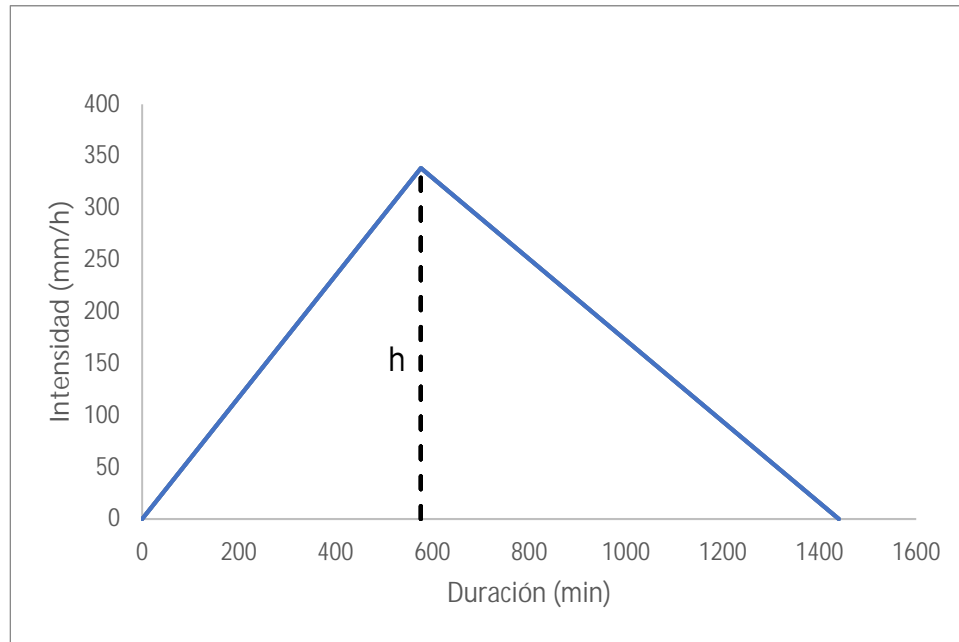


Figura 2.4: Ejemplo de hietograma triangular.

Para la creación del triángulo es necesario conocer el volumen de precipitación de diseño P y el tiempo de duración de la tormenta t_D . La ecuación 2.10 permite obtener la altura del triángulo h [29].

$$h = 2 * \frac{P}{t_D} \quad (2.10)$$

Es necesario conocer el tiempo pico t_p , el cual es el minuto donde se produce la máxima intensidad o precipitación; este valor puede encontrarse en un rango de 0.3 - 0.5 y se lo conoce como factor de progresión de tormenta 2.11. Si el valor de r es menor a 0.5 el tiempo donde se produzca la mayor magnitud de precipitación estará antes de la mitad del hietograma; si el valor es igual a 0.5 se encontrará en la mitad [29].

$$r = \frac{t_p}{t_D} \quad (2.11)$$

2.4. Evapotranspiración

La evapotranspiración hace referencia a la porción de agua que se traslada a la atmósfera en estado gaseoso, ya sea por evaporación directa o por transpiración de las plantas [30]. Este parámetro depende de variables meteorológicas, de vegetación y de composición de suelo[30]; el valor suele ser expresado en milímetros por unidad de tiempo [31].

En el ámbito hidrológico a la evapotranspiración potencial (ETP) se la define como la cuantía de agua que transpira al espacio teniendo siempre una gran cantidad de agua, no depende de factores como la lluvia ni del volumen contenido en el suelo[30].

2.4.1. Ecuación de Thornthwaite

La metodología propuesta por Thornthwaite permite estimar la ETP en base a la temperatura y el calor; este método presenta buenos resultados en zonas con gran vegetación [32]. Las ecuaciones 2.12, 2.13 y 2.14 permiten conocer el valor de la ETP sin corrección; debido a la presencia variable del sol durante el día es necesario realizar una corrección mediante la ecuación 2.15.

$$ETP_{sc} = 16 * \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a \quad (2.12)$$

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239 \quad (2.13)$$

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (2.14)$$

$$ETP = ETP_{sc} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30} \quad (2.15)$$

$$F_{cor} = \frac{N}{12} \frac{d}{30} \quad (2.16)$$

De las ecuaciones descritas anteriormente se tienen las variables I y t para la ecuación 2.12 representan un indicador de calor a lo largo del año dado por la suma de indicadores mensuales i , y el promedio de la temperatura durante el mes respectivamente. En la ecuación 2.15 se tiene el término d que representa los días del mes analizado y N representa la máxima cantidad de horas de sol al día.

2.5. Balance hidrológico

Es el balance que existe entre todos los recursos hídricos que aportan o salen del sistema, fundamentándose en la preservación de masas, siendo este un instrumento para conocer las características de almacenamiento en la cuenca [7], como se aprecia en la figura 2.5, por lo que establece que la precipitación será igual a la adición del escurrimiento tanto superficial como subterráneo y la evapotranspiración. La esorrentía superficial corresponde a la altura de agua que circula a lo largo de la cuenca, la esorrentía subterránea es el procedimiento donde el agua dreña por medio del subsuelo y la evapotranspiración es la transformación del agua en estado líquido de la superficie a estado gaseoso por efectos de temperatura [7].

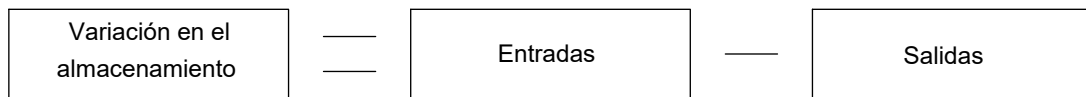


Figura 2.5: Balance hidrológico.

La ecuación 2.17 corresponde al balance hídrico de una cuenca cumpliendo el principio de conservación de masas [30].

$$\Delta V = P - E - ETP \quad (2.17)$$

Donde ΔV es la variación del almacenamiento; P la precipitación; E la esorrentía; y ETP representa la evapotranspiración.

2.6. Modelización hidrológica

El modelado hidrológico es una representación simplificada de un sistema complejo cuya técnica facilita entender de mejor manera el sistema hidrológico y la influencia de algunos factores en este, requiriendo de una proporción de datos considerables [6]; los modelos hidrológicos se pueden catalogar de acuerdo a la discretización espacial de la información, teniendo los modelos agregados, distribuidos y semi-distribuidos [33].

En el siguiente listado se puede apreciar los distintos software de modelos hidrológicos, siendo HEC-RAS el software empleado en el trabajo.

- HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modeling System);

- TOP MODEL (Topography-Based Hydrological Model);
- MIKE SHE Model;
- Xinanjiang Model;
- SWAT Model (Soil Water Assessment Tool);
- VIC Model (Variable Infiltration Capacity Model);
- HBV Model (Hydrologiska Byrans Vattenavdelning Model) [6].

2.6.1. HEC-HMS

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System), es un programa computacional que permite crear modelos de lluvia-escurrimiento, este fue implementado por un grupo de ingenieros que pertenecen al ejército norteamericano, mediante el cual se simula datos de flujo en un hidrograma, siendo posible la obtención del caudal directo en un punto determinado[6].

El software HEC-HMS tiene la capacidad de poder realizar múltiples modelizaciones hidrológicas mediante el uso de sus diferentes aplicaciones, mismas que se caracterizan por la sencillez de su manipulación. Para poder empezar con la simulación hidrológica el software requiere de algunos datos de entrada como la representación física de la cuenca a analizar, la red de drenaje existente en la zona, el punto de aforo, entre otros [34].

Otro de los aspectos a considerar es la infiltración que poseerá la cuenca en análisis, para lo cual Scharffenberg [34] establece que existen diversas metodologías para modelizar las pérdidas que se dan por efecto de la infiltración, dentro de las cuales menciona el método del número de curva SCS (Soil Conservation Services).

La entidad autora de la metodología del número de curva fue SCS de los EEUU y tiene como objetivo conocer el agua de circulación que puede generar el efecto de la precipitación, para lo cual se requiere de datos de lluvia y diferentes criterios de drenaje [20].

Para estimar el número de curva se requiere conocer algunos parámetros que caracterizan la cuenca, como por ejemplo, tanto el uso como el tipo de suelo, y la hidrología que posee la zona. [35]. Villón [20] en su libro “Hidrología“ presenta en la Tabla 6.8 todas las consideraciones que se requieren para definir el número de curva de la cuenca. Otro de los datos que se requiere ingresar al software HEC-HMS es la magnitud de tiempo comprendido entre los centroides del hidrograma y el hietogra-

ma. [20].

Existen diferentes ecuaciones para poder determinar el tiempo de retraso, uno de ellos es Villón [20], que presenta la ecuación 2.18:

$$t_r = 0.6t_c \quad (2.18)$$

Donde, t_r es el tiempo de retraso y t_c corresponde al tiempo de concentración.

Así mismo, Chow [36] propone la siguiente ecuación para poder estimar el tiempo de retraso:

$$t_r = 0.005 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64} \quad (2.19)$$

En el cual, L es la distancia del principal en metros, S es la inclinación del cauce en porcentaje y t_r hace referencia al tiempo de retraso en horas.

Del mismo modo, existen varios autores que proponen diferentes ecuaciones para poder determinar el tiempo de concentración que posee la cuenca en análisis, para lo cual, Vélez & Botero en su publicación presentan diferentes ecuaciones conjuntamente con sus respectivos autores [37], mismos que son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 2.2: Ecuaciones para determinar el tiempo de concentración.

Autor	Ecuación
Kirpich	$tc = 0.02 * \frac{l^{0.77}}{S^{0.385}}$
Témez	$Tc = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76}$
Bransby - Williams	$tc = 14.6 * \frac{L}{A^{0.1} * S^{0.2}}$
Kerby - Hathaway	$tc = \left[\frac{0.67 * n * Lp}{\sqrt{S}} \right]^{0.467}$
Pilgrim y McDermott	$Tc = 0.76 * A^{0.38}$

Las variables Tc y tc representan el tiempo de concentración tanto en horas como en minutos respectivamente; de igual manera L y l simbolizan el largo del río en km y m respectivamente; el desnivel promedio del afluente es representado por S en m/m ; Lp es la distancia del cauce en ft ; por su parte A y n son características de la cuenca como la superficie de la cuenca expresada km^2 y el factor de rugosidad del afluente respectivamente.

2.7. Análisis de decisiones multicriterio

Los análisis de decisiones multicriterio (MCDM) son metodologías que ayudan a los individuos en la toma de decisiones y son importantes en proyectos de ingeniería [38]; este procedimiento generalmente implica el analizar todos los criterios y/o sub-criterios, asignando pesos a cada uno de estos realizando comparaciones para medir su importancia y así obtener la opción más factible [39].

Dentro de los MCDM existen dos grupos: el método de toma de decisiones multiobjetivo (MODM) cuando la decisión esté definida en base a objetivos bajo una serie de restricciones, este tipo se suelen implementar en problemas de diseño y optimización; el método de toma de decisiones multiatributo (MADM) cuando la mejor decisión se basa entre una serie de alternativas [40], el proceso de los MADM es la identificación y selección, la ponderación de los alternativas, la comparación de acuerdo al método elegido y la síntesis de matrices para la elección final [41].

Dentro de los MADM se tienen la metodologías de proceso de red analítica (ANP); de proceso analítico jerárquico (AHP), la cual fue utilizada en el proyecto; de evaluación compleja proporcional (COPRAS); de eliminación y opciones que reflejan la realidad (ELECTRE); y, de conjuntos difusos (FSs) [39].

2.7.1. Proceso analítico jerárquico (AHP)

El método Proceso analítico jerárquico (AHP) fue propuesto por Satty en 1980 [41] se basa en establecer una estructura jerárquica apoyándose en juicios de expertos generando criterios y/o subcriterios que serán analizadas en cada una de las alternativas como se puede apreciar en la figura 2.6, el AHP es una de las técnicas más simples de entender, sin necesidad de ser expertos [42].

El método AHP se basa en la comparación por pares de manera que cada alternativa, criterio y/o subcriterio son comparadas de acuerdo a los niveles de preferencia asignados [40] de acuerdo con la tabla 7.5 (Ver en anexos), mediante la matriz 2.20.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_1 & a_2 & a_n \\ 1/a_1 & 1 & \vdots & \vdots \\ 1/a_2 & \cdots & 1 & \vdots \\ 1/a_n & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Se emplean vectores propios para determinar la matriz de pesos de los criterios, así como también, de las alternativas en relación al criterio [40]. En la ecuación 2.21

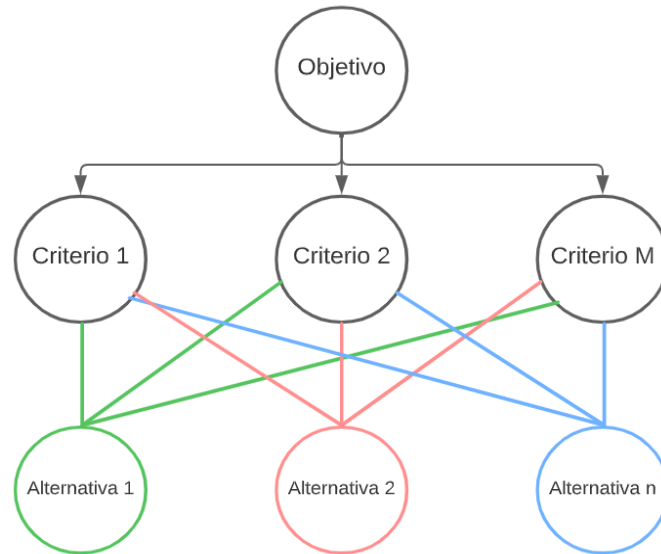


Figura 2.6: Metodo AHP.

se representa el cálculo de los valores propios de A , siendo W el vector de pesos y λ el valor propio.

$$A * W = \lambda * W \quad (2.21)$$

El peso final de cada alternativa se obtendrá mediante la ecuación 2.22 donde W será el peso de cada alternativa; W_c representa el peso de los criterios; y W_{ac} el peso de las alternativas con respecto a cada criterio.

$$W = W_c * W_{ac} \quad (2.22)$$

Comprobación de consistencia

Un punto importante en la metodología AHP es la verificación de la consistencia de cada una de las matrices de manera que es necesario determinar la relación de consistencia CR mediante la ecuación 2.23 donde IC representa el índice de consistencia (ver ecuación 2.24); e IR el índice aleatorio de inconsistencia que se puede obtener de la tabla 7.6 en la sección anexos.

$$CR = \frac{IC}{IR} \quad (2.23)$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.24)$$

2.8. Población Futura

Dentro del abastecimiento un punto importante es conocer la demanda del recurso para poder satisfacer a la población, tanto actual como futura. Según López [43] para conocer la población de diseño es necesario realizar una proyección poblacional, para lo cual propone los siguientes métodos:

- Crecimiento lineal

Este método es completamente teórico y establece un crecimiento constante, para estimar la población futura integrando entre un censo inicial y uno final con el fin de obtener un coeficiente de crecimiento expresada en la ecuación (2.25) donde: k es la pendiente de crecimiento; P_{uc} y T_{uc} son la población y el año del último censo respectivamente; P_{ci} y T_{ci} son la población y el año del último censo respectivamente; este método representa un crecimiento lineal, lo cual no sucede en la realidad [43].

$$k = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \quad (2.25)$$

La ecuación (2.26) se implementa para estimar la población del año que se requiera donde: P_f es la población proyectada y T_f es el año de proyección.

$$P_f = P_{uc} - k * (T_f - T_{uc}) \quad (2.26)$$

- Crecimiento geométrico

Este crecimiento se denomina geométrico debido a que en un tiempo dado la población crece en igual magnitud que este. En la ecuación (2.27) se muestra la tasa de crecimiento anual r , la cual será implementada en la ecuación (2.28) para determinar la proyección de la población [43].

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} - 1 \quad (2.27)$$

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (2.28)$$

- Crecimiento logarítmico

Este método se emplean cuando la población tiene un crecimiento exponencial, es decir, a diferencia del método anterior este no crecerá la misma magnitud que el tiempo [43]. En la ecuación (2.29) se muestra el factor k_g , el cual deberá ser calculado mínimo dos veces, debido a que en la ecuación (2.30) para determinar la pro-

yección de la población se deberá implementar un factor de crecimiento promediado.

$$k_g = \frac{\ln P_{uc} - \ln P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \quad (2.29)$$

$$P_f = P_{ci} * e^{\bar{k}_g(T_f - T_{uc})} \quad (2.30)$$

- Métodos estadísticos

Este método permite estimar una proyección poblacional implementando ecuaciones de regresión lineal o exponencial de manera de estimar una curva lineal (2.31), curva exponencial (2.32), curva logarítmica (2.33) y curva potencial (2.34); con un sistema con las ecuaciones [43].

$$y = a + bx \quad (2.31)$$

$$y = ae^{bx} \quad (2.32)$$

$$y = a + b \ln(x) \quad (2.33)$$

$$y = ax^b \quad (2.34)$$

En cada una de las ecuaciones y representa la población, x el tiempo y, a y b son coeficientes de regresión que se obtienen resolviendo el sistema con las ecuaciones (2.35) y (2.36); López [43] en su libro “Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados” presenta la tabla 3.1, donde se puede encontrar la relación que poseen las variables para la regresión estadística.

$$An + B \sum X_i = \sum Y_i \quad (2.35)$$

$$A \sum X_i + B \sum X_i^2 = \sum X_i \sum Y_i \quad (2.36)$$

La variable n representa el número de pares de (X, Y) que se tengan, se deberá verificar el coeficiente de correlación R^2 mediante la ecuación (2.37) para elegir la curva que mejor se ajusta a la proyección; generalmente las curvas exponenciales se suelen ajustar de mejor manera [43].

$$R^2 = \frac{n * \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{(n * \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2) (n * \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2)} \quad (2.37)$$

Sección 3

Marco Metodológico

El presente trabajo propone una estrategia que pretenda abastecer de agua a la ciudad de Azogues durante los próximos años, para lo cual se plantea poder realizar la construcción de un embalse en el área intangible de La Filomena - Molobog, perteneciente a la parroquia Guapán, Cantón Azogues, Provincia del Cañar, cuya área fue adquirida por EMAPAL-EP; este tiene la finalidad de poder almacenar agua para su posterior suministro, por tal razón se deberá analizar varios aspectos a considerar para estimar la cantidad de agua que será recolectada en un año y si es la suficiente para poder abastecer a la población.

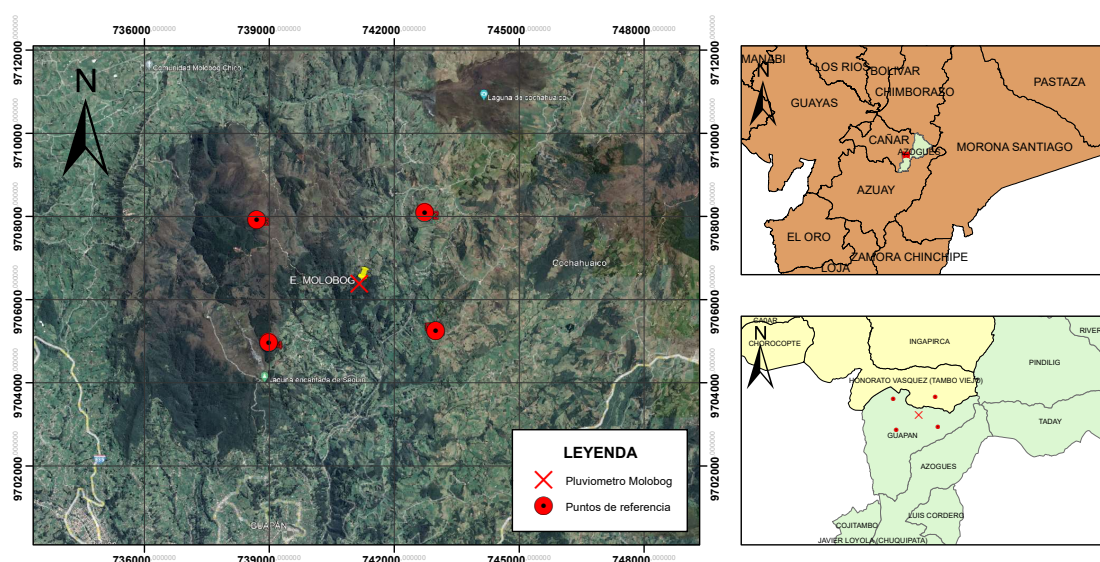


Figura 3.1: Zona de estudio propuesta para la construcción del embalse escala 1:100 000.

Mediante el proceso de investigación se obtendrá una base de datos que serán analizados posteriormente, en ellos se encuentra información del número de habitantes a los cuales abastecer de agua potable, de igual manera un reconocimiento

de la topografía y morfología del sector propuesto para la construcción, un análisis multicriterio para determinar la zona, un registro de precipitaciones para el análisis hidrológico y el uso de diversos software.

3.1. Información cartográfica

En el modelo se implementó 229 fotogramas de modelos digital del terreno (MDT) con precisión altimétrica de 1.5 m, obtenidos a través del geportal SIG-TIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería [44].

Así mismo, EMAPAL-EP [45], pudo brindar información cartográfica del tipo vectorial (shapes), en la cual constaban tablas de atributos del cantón Azogues con información como la tipología y uso de suelo, la infiltración de diferentes zonas, entre otras; las cuales fueron indispensables para el desarrollo de la presente investigación.

3.2. Delimitación de la cuenca

Para realizar la delimitación de cuencas hidrográficas con un software de SIG es necesario el uso de la información cartográfica digital obtenida del cantón Azogues y Cañar en varios cuadros de imagen; con ayuda del software de SIG se realiza la unión de los distintos fotogramas con la herramienta *Mosaic to Raster* para trabajar en conjunto.

Para la delimitación de la cuenca, en primera instancia se realiza una corrección del MDT a través de la herramienta *Fill* que proporciona el software para eliminar picos y sumideros, a continuación es necesario conocer la dirección del flujo para lo cual se emplea el recurso *Flow Direction*; el siguiente paso es la determinación de la cantidad de flujo que se drena, para ello se emplea la herramienta *Flow Accumulation* que permite conocer los distintos cauces de agua [10].

Una vez obtenido el raster de los distintos cauces es necesaria la colocación de un punto de desfogue, el cual se ubicó en base a una de distintos perfiles para que favorezcan a la construcción del embalse, por último se emplea la herramienta *Watershed* que permite la generación de un área de aporte de la cuenta dentro de la cual el agua drena a través de distintos puntos hacia un punto de salida.

3.3. Características morfométricas

Con base en la información vectorial obtenida del análisis del raster para la delimitación de la cuenca se pudo registrar en una hoja de cálculo diferentes tipos de parámetros que caracterizan a la misma, estos son el perímetro, el área y la longitud axial expresados en Km , Km^2 y Km respectivamente, también se obtendrán dos características con valores adimensionales como los son el factor de forma y índice de compacidad obtenidos mediante las ecuaciones 2.1 y 2.2 respectivamente; los valores descritos valores permiten clasificar a la cuenca.

Dentro del análisis de la cuenca se tomaron en cuenta factores de relieve como: cotas de altura (*m.s.n.m.*) de los distintos picos y la pendiente media de la cuenca; el primer aspecto permite realizar una curva hipsométrica entre las cotas de elevación y el área comprendida entre ellas para obtener la elevación media. Todos los aspectos mencionados permitirán tener información de ambas cuencas para la elección multicriterio.

3.4. Número de curva

El número de curva (CN) es una variable que requiere el programa HEC-HMS para el modelado de infiltración [46]; de manera que, con base en los shape obtenidos mediante SIGTIERRAS y también a los proporcionados por EMAPAL-EP se obtuvo la información de la tipología de suelo y cobertura vegetal que se tenía en la cuenca para ser comparados con los valores que se presentan en la Tabla 6.8 de Villón [20]; una vez identificado la tipología del suelo conjuntamente con su uso y la condición hidrológica que posee diferentes zonas de la cuenca, se procedió a realizar un promedio ponderando para estimar el valor de CN de la cuenca de Molobog y Llaucay [47].

3.5. Elección multicriterio AHP

Dentro de la investigación se presentan la zona de Molobog y la zona de Llaucay, de manera que se emplea una hoja de cálculo para la aplicación del análisis de decisión multicriterio para determinar cual es la más rentable para ser estudiada. Los autores Cortés, García y Aragónes [42] proponen los siguientes pasos para el proceso de elección por el método AHP:

1. Análisis de las alternativas

En el estudio se proponen dos zonas: Molobog y Llaucay; de manera que es

necesario realizar la elección de una de ellas para continuar con el estudio hidrológico y la modelización.

2. Selección de los criterios de decisión

Para determinar los criterios, se tomo en cuenta para el aspecto topográfico con la presencia de muros altos ya que favorece al cuerpo del reservorio [40]; al aspecto hidrológico es uno de los principales factores a considerar en este estudio debido a que es el eje principal del mismo; la calidad de agua es un punto importante que debe ser analizado, se deben considerar aspectos como presencia de minerales, así como humana en el sector, debido a esto la ubicación debe ser donde presente la mejor calidad [40], las condiciones demográficas deben ser analizadas para acordar una ubicación de un reservorio debido a los impactos sociales que puede producir la destrucción de lugares residenciales y culturales cercanos [40]; y el impacto ambiental debe ser analizado para la ubicación de un reservorio debido a que la presencia de fauna y flora juega un papel importante en el ecosistema [40].

Los criterios a tener en cuenta dentro de este análisis son **topografía (C1)**; **hidrología (C2)**; **calidad de agua (C3)**; **condiciones demográficas (C4)**; e, **impacto ambiental (C5)**.

3. Ponderación de los criterios (Tabla 7.5)

Se realiza la respectiva matriz en una hoja de cálculo como la vista en la ecuación 2.20 y mediante la ecuación 2.21 se obtuvo los respectivos W_c . También se comprueba la consistencia de la matriz utilizando la ecuación 2.23.

4. Valoración de las alternativas según cada criterio

En **C1** se realiza perfiles en el software de SIG para conocer el perfil y colocar la debida ponderación; en **C2** se compara las características morfológicas obtenidas en los puntos anteriores para colocar el valor de ponderación; para **C3**, **C4** y **C5** se revisa la presencia humana, así como animal y vegetal en el sector para colocar la ponderación.

De igual manera que el punto anterior se realiza la matriz de pares y se obtienen los pesos respectivos W_{ac} .

5. Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas

Para determinar el peso global de las alternativas respecto a cada uno de los criterios se emplea la ecuación 2.22.

6. Análisis de resultados e informe final

Al final la alternativa que posea un mayor peso será la elegida para continuar con el estudio hidrológico.

3.6. Tiempo de retardo

El tiempo de retardo es otro factor que se emplea para la modelización hidrológica en el software HEC-HMS, para ello se empleó la ecuación 2.18, en la cual se considera el tiempo de concentración.

Se emplearon múltiples ecuaciones propuestas por diferentes autores para conocer el tiempo de concentración que tiene la cuenca, estas se pueden encontrar en la tabla 2.2; a continuación se realizó un promedio de todos los resultados obtenidos, llegando así a determinar el tiempo de retardo que posee la cuenca en análisis para el ingreso al software.

3.7. Curva IDF

Es necesario realizar un análisis de precipitación de la zona de estudio con la finalidad de obtener la lluvia de diseño requerida; con base a los datos del pluviómetro Condoryacu proporcionados por la empresa EMAPAL EP, se realiza un análisis estadístico en el software hydrognomon, el cual arrojó resultados de distintos modelos de distribución estadística, los cuales fueron sometidos al test Smirnov-Kolmogorov para seleccionar el modelo que se acople de mejor manera.

En la ejecución de las curvas IDF se estiman las cantidades de lluvia máxima para los distintos periodos de retorno en el software mencionado, en una hoja de cálculo se realiza el reajuste a cada valor de precipitación con la relación 1.13 de la tabla 7.4 para obtener los nuevos valores. Mediante la ecuación 2.8 se obtienen los valores de precipitación de máxima duración que posee los diferentes periodos de retorno, posteriormente se calcula el valor de la intensidad y se ilustra mediante una gráfica cada una de las curvas.

La ecuación que representa a las curvas graficadas se obtuvo determinando los parámetros k , m y n de la ecuación 2.5, empleando la herramienta de regresión lineal múltiple en una hoja de cálculo y el software HidroEsta 2.0 para cada uno de los meses del año; la metodología descrita permitirá representar la lluvia de diseño mediante un hietograma.

3.8. Hietograma de Diseño

La representación de la lluvia de diseño se realizó en un periodo de 24 horas con intervalos de 1 hora según establece Estrada y Reyes [48] para la modelización hidrológica en el programa HEC-HMS; para este estudio se empleó dos hietogramas de diseño, el uno por la metodología de bloques alternos y el segundo por el método triangular.

Para los cálculos e ilustración gráfica de ambos hietogramas se empleo una hoja de cálculo. En el hietograma de bloques alternos se empleó la ecuación 2.9 en un total de 24 bloques, en el hietograma triangular se empleó la ecuación 2.10 para determinar la altura máxima de precipitación y en la ecuación 2.11 se empleó un coeficiente de avance de tormenta igual a 0.45 de acuerdo con García [49] para obtener el tiempo pico; para mejor representación de la precipitación se discretizó el hietograma cada hora, estableciendo cortes en el triángulo y aplicando la teoría de triángulos semejantes. Con estos hietogramas se generarán dos simulaciones en HEC-HMS para determinar el posible volumen de embalse a lo largo de un año.

3.9. Modelización hidrológica

Para la modelización hidrológica de la zona de estudio mediante el software HEC-HMS 4.3 se empleó la metodología SCS (Soil Conservation Services), para lo cual es necesario la recolección de algunas características de la cuenca así como de datos de precipitación durante varios años.

Lo primero que requiere el software es el ingreso de la delimitación de la cuenca conjuntamente con el cauce principal que este posee, a partir de ello se ingresan las características de la cuenca y se establece el punto donde se va a realizar el respectivo aforo; así mismo, se selecciona el tipo de metodología a emplear, en este caso tanto para el *Loss Method* (Método de pérdida) como para el *Transform Method* (Método de transformación) se ha establecido el método SCS.

A continuación se requiere el ingreso de algunos datos como el número de curva y el tiempo de retraso, así mismo, se ingresan los datos del hietograma que fueron obtenidos previamente gracias a los datos de precipitación, además se especifica la fecha en la cual se requiere realizar la simulación conjuntamente con el intervalo de tiempo en el que se desee se realice el aforo del volumen de agua.

Para la presente investigación se determinó el hietograma correspondiente para cada uno de los meses del año, para lo cual se empleó tanto la metodología de los bloques alternos como el triangular; a partir de ello se desarrolló la modelización hidrológica creando múltiples escenarios donde la única variación fue la del hietograma, obteniendo así el caudal pico y el volumen de escurrimiento directo de todos los meses para su posterior balance hidrológico.

3.10. Evapotranspiración potencial

En la obtención de la porción de agua que se evapora en la cuenca se realizó empleando la metodología propuesta por Thornthwaite, misma que fue realizada tanto en una hoja electrónica como en un software de SIG para su posterior comparación.

Ante la ausencia de datos de temperatura media mensual en las estaciones cercanas a la zona de estudio, se procedió a indagar por diferentes fuentes digitales para obtener una capa raster que contenga datos de temperatura, misma que fue encontrada en el sitio web WorldClim [50], esta es una página de internet que posee una base de datos meteorológicos y climáticos de diferentes partes del mundo.

Por medio de la opción *Raster Calculator* fue posible determinar todos los parámetros que se emplean para determinar la evapotranspiración potencial con la ecuación establecida por Thornthwaite.

Para el caso de la evapotranspiración potencial mediante un software de SIG se empleó una capa raster que contiene el factor de corrección (F_{cor}), que abarca el número de días de cada mes y el número máximo de horas de sol como se puede apreciar en la ecuación 2.16.

Para determinar la evapotranspiración potencial mediante una hoja de cálculo se procedió a extraer los datos de temperatura promedio de cada mes de la capa raster mencionada anteriormente, a su vez también se indagó para poder establecer el número de horas máximas del sol de cada mes, para lo cual Marín [51] en su publicación presenta en la sección anexos la tabla A.3, en la que se puede apreciar el número de horas de sol máximo para la Latitud 0 que pertenece a Ecuador.

3.11. Balance hídrico de la cuenca

Previo a determinar el balance hidrológico de la zona de estudio se debe definir todas las variables a analizar, es decir, determinar todos los elementos que resten y aporten volumen de agua a la cuenca, a partir de ello se puede determinar la capacidad de almacenamiento esperado en la zona de estudio, en la presente investigación fue determinada empleando la ecuación 2.17.

Para la ejecución del balance hídrico de la zona de estudio es necesario realizar un análisis del relieve del terreno donde se pretende construir el embalse, con el fin de proponer la altura que poseerá el mismo, por consiguiente se definirá el área de inundación que será delimitada por el espejo de agua cuando su almacenamiento alcance la elevación considerada en el diseño.

A partir del área de inundación es posible determinar tanto el volumen de precipitación como el volumen de la evapotranspiración potencial que influirán mensualmente la zona de estudio; así mismo, gracias al volumen de escurrimiento directo obtenido en la modelación hidrológica es posible obtener la cantidad de agua que puede aportar la cuenca.

Finalmente, para determinar el volumen de agua que poseerá cada uno de los meses del año, se deberá establecer un caudal ecológico, para lo cual Arce *et al.* [52] expresa que el caudal ecológico empleado en Ecuador y en casi toda América Latina corresponde al 10 % del caudal medio mensual; una vez analizados los parámetros mencionados anteriormente se empleó la ecuación 2.17, correspondiente a la ecuación del balance hídrico de una cuenca.

3.12. Proyecciones poblacionales

Las proyecciones poblacionales fueron desarrolladas mediante los métodos de crecimiento lineal, crecimiento geométrico y crecimiento logarítmico para determinar la metodología que mejor se adapte a la población que goza del servicio de agua. En el caso de la ciudad de Azogues, EMAPAL-EP no brinda únicamente el servicio a la población que habita sector urbano, sino también se extiende hacia las parroquias de Guapán y Javier Loyola, correspondientes al área rural del cantón.

Para determinar la población futura se emplearon datos de los censos realizados previamente por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), cuyos da-

tos constan en el Plan del Buen Vivir y Ordenamiento Territorial de Azogues [53], Javier Loyola [54] y Guapán [55]; para el área urbana correspondiente a la ciudad de Azogues, se cuentan con datos que datan desde el año 1950 hasta el año 2010 (último censo realizado en el Ecuador), en la parroquia Javier Loyola se cuentan con datos que varían entre los años 1990 y 2010, finalmente para la parroquia Guapán se cuentan con datos únicamente del año 2001 y 2010; como se puede apreciar en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Datos históricos de la población.

Sectores beneficiarios del servicio de agua potable brindado por EMAPAL-EP			
Año del censo	Ciudad de Azogues	Parroquia Javier Loyola	Parroquia Guapán
1950	6588	—	—
1960	8075	—	—
1970	10953	—	—
1980	14548	—	—
1990	21060	610	—
2001	27866	820	1353
2010	33848	1361	1478

3.13. Caudal de consumo

Con base al número de habitantes que son beneficiarios del sistema de agua potable en el año 2022, es posible determinar el caudal de captación requerido mensualmente, para ello se siguió las disposiciones generales implementadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), los cuales constan en el capítulo cuatro, quinta parte de la normativa para el diseño de abastecimiento y alcantarillado del país [56].

Para estimar la cuantía de agua requerida por la población, o también conocida como dotación, se tomó como referencia los valores de las dotaciones proyectadas, los cuales fueron determinados en la memoria técnica sobre la ampliación y mejora del sistema de abastecimiento de la ciudad [57], cuyos datos se fundamentan en la base de datos de EMAPAL-EP sobre los registros mensuales, como se puede apreciar en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Dotación de la zona urbana proyectadas [57].

Año	Dotación Residencial <i>l(hab/día)</i>	Dotación Comercial <i>l(hab/día)</i>	Dotación Industrial <i>l(hab/día)</i>	Dotación Oficial <i>l(hab/día)</i>	Subtotal	Pérdidas %	Dotación Bruta <i>l(hab/día)</i>
2010	183	20	2	7	212	35	326
2015	188	20	2	7	217	30	310
2020	193	20	2	7	222	25	296
2025	198	20	2	7	227	25	303
2030	203	20	2	7	232	25	309

De igual manera, con base a los registros de EMAPAL-EP se tiene que las parroquias de Javier Loyola y Guapán cuentan con una dotación de $130 \text{ l} * \text{hab}/\text{dia}$, en la cual se estima un índice de pérdidas del 30 %, considerando así una dotación bruta de $186 \text{ l} * \text{hab}/\text{dia}$ [57].

3.14. Capacidad de almacenamiento del embalse

Con el objetivo de conocer la capacidad de almacenamiento de un embalse se realizó un análisis del relieve del terreno donde se pretende construir el mismo, para lo cual a partir de un MDT y con la ayuda de un software SIG fue posible determinar las curvas de nivel de la zona para su posterior análisis dentro del software AutoCAD Civil 3D versión 2019.

Dentro del software Civil 3D se procedió a fijar la ubicación del embalse en el relieve, misma que ya fue antes definida en el software SIG, posterior a ello se define la cota que alcanzará la superficie libre del agua y se establecerá el área de inundación con la finalidad de delimitar la laguna que se formará a partir del embalse, finalmente se traza un eje longitudinal por la laguna para crear un *alineamiento* y a partir de ello establecer las *líneas de muestreo* que el software ofrece, para así determinar el volumen acumulado que existe en cada una las secciones establecidas en las *líneas de muestreo*, como se puede apreciar en la figura 3.2.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

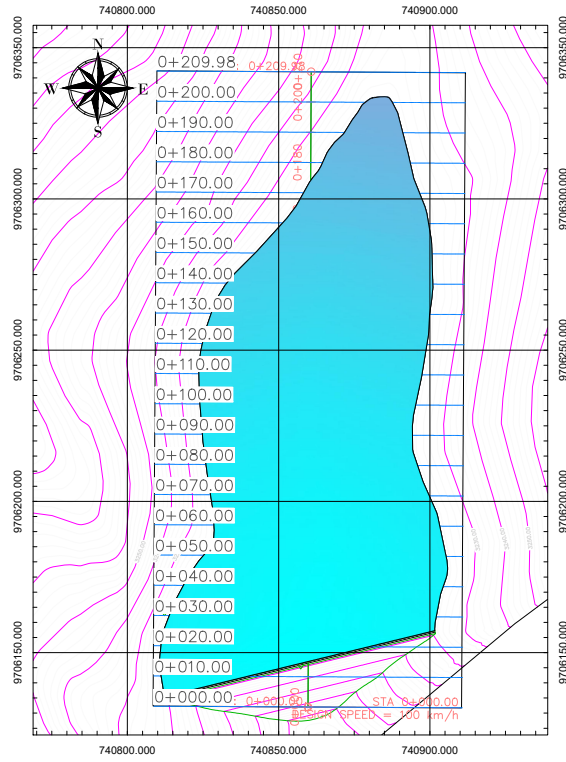


Figura 3.2: Alineamiento creado en el software AutoCAD Civil 3D

Sección 4

Resultados

4.1. Aspectos morfométricos

La resolución de la delimitación de la cuenca del sector Molobog se puede apreciar en la figura 4.1 y tabla 4.1. La superficie de la cuenca obtenida permite clasificarla como es muy reducida; la forma alargada de la cuenca se puede apreciar en su índice de compacidad, también siendo baja susceptible a crecientes por su valor de factor de forma; la pendiente media refleja que el terreno es muy fuertemente accidentado.

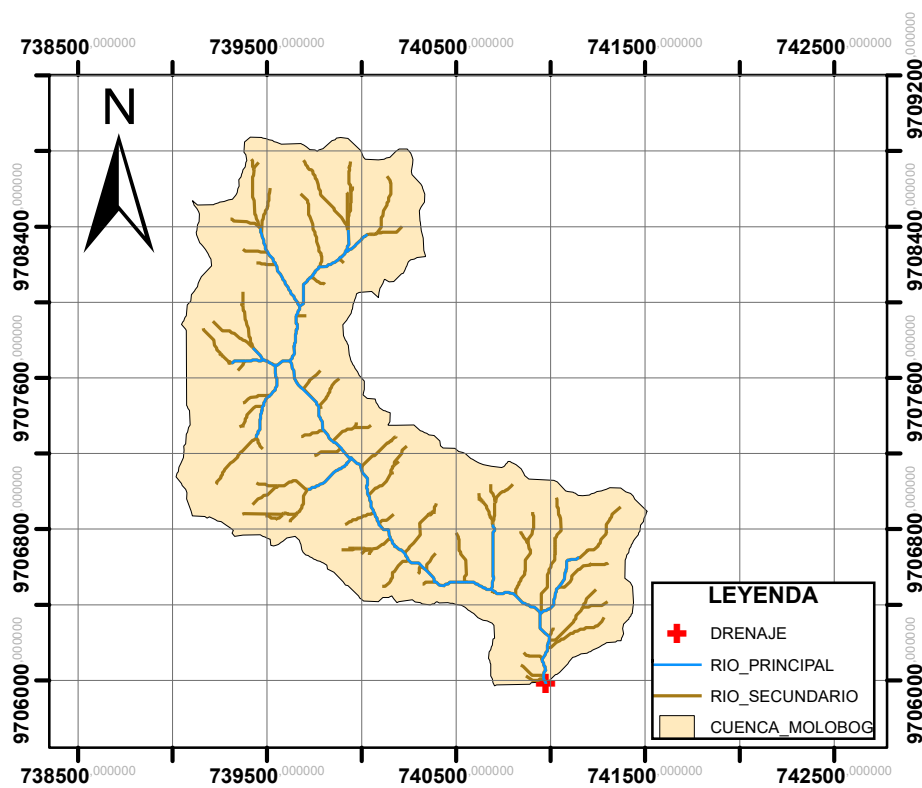


Figura 4.1: Delimitación de la cuenca Molobog escala 1:40 000.

Tabla 4.1: Características morfométricas de la cuenca en el sector Molobog.

Característica	Valor
Cota max (m.s.n.m.)	3723.59
Cota min (m.s.n.m.)	3163.63
Área (km^2)	3.36
Perímetro (km)	1.70
Coef. de compacidad	1.63
Factor de forma	0.16
Pendiente media (%)	46.49
Elevación media (m.s.n.m.)	3531.47

En la figura 4.2 se puede apreciar la curva hipsométrica representando el área de la cuenca conforme la altura de esta.

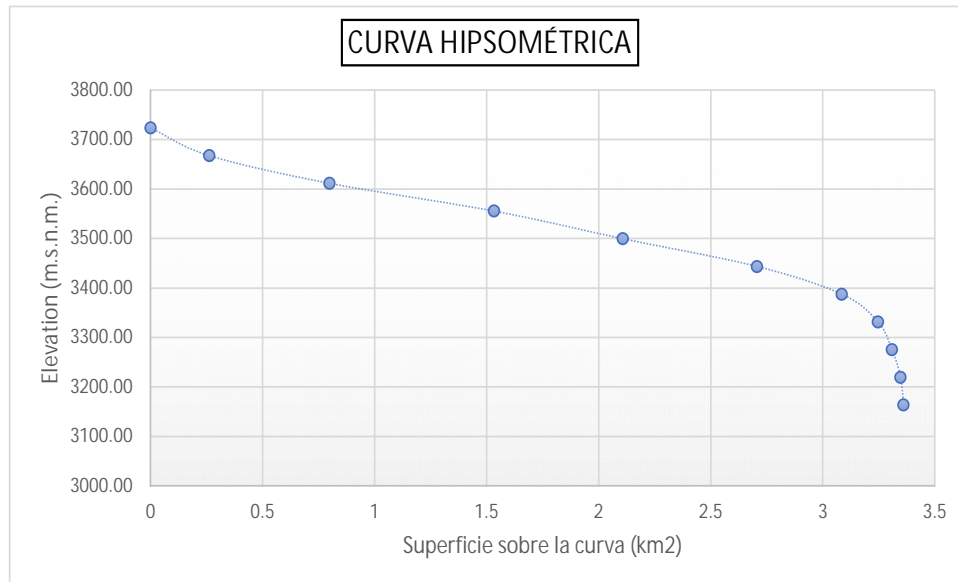


Figura 4.2: Curva hipsométrica de la cuenca en el sector de Molobog.

La resolución de la delimitación de la cuenca del sector Llaucay se puede apreciar en la figura 4.3 y tabla 4.2 se aprecian. La superficie de la cuenca obtenida permite clasificarla como es muy reducida; la forma alargada de la cuenca se puede apreciar en su índice de compacidad, también siendo baja susceptible a crecientes por su valor de factor de forma; la pendiente media refleja que el terreno es muy fuertemente accidentado.

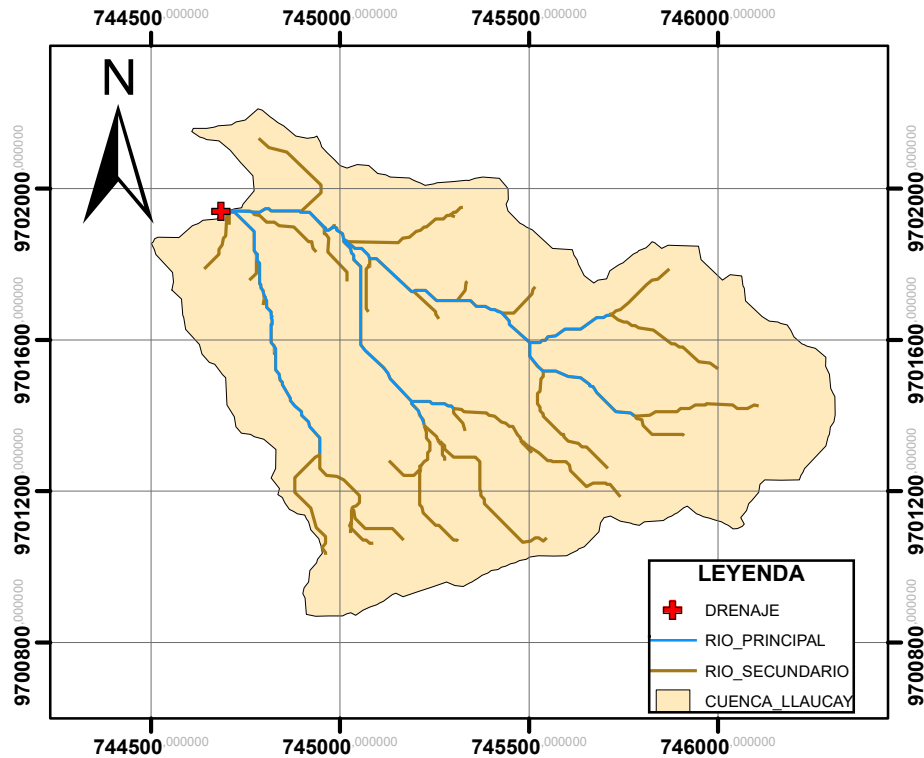


Figura 4.3: Delimitación de la cuenca Llaucay escala 1:20 000.

Tabla 4.2: Características morfométricas de la cuenca en el sector Llaucay.

Característica	Valor
Altitud max (m.s.n.m.)	3278.15
Altitud min (m.s.n.m.)	2998.74
Área (km^2)	1.37
Perímetro (km)	5.84
Coef. de compacidad	1.40
Factor de forma	0.25
Elevación media (m.s.n.m.)	3118.52

4.2. Número de curva

En la tabla 4.3 de la cuenca en el sector de Molobog, se aprecia la cobertura del área de la cuenca con usos de suelo establecidos por SIG TIERRAS, dando como resultado un número de curva igual a 66.79; en la tabla 4.4 se aprecia la cobertura del área de la cuenca con usos de suelo establecidos por Inf. Cartográfica, dando como resultado un número de curva igual a 60.63; y, en la tabla 4.5 se aprecia la cobertura del área de la cuenca con usos de suelo establecidos por EMAPAL, dando como resultado un número de curva igual a 69.30; tomando el valor de 66 para el trabajo.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 4.3: Cobertura SIG TIERRAS (Molobog).

Area Total	km2	% de area	Número de curva
Páramo	1.34	39.88	58
Pastizal	0.20	5.95	79
Vegetación	0.83	24.70	79
Plantación forestal	0.99	29.46	66
TOTAL	3.36	100.00	

Tabla 4.4: Cobertura INF. CARTOGRÁFICA (Molobog).

Area Total	km2	% de area	Número de curva
Arado - erosionado - urbano	0.02	0.58	74
Bosque y matorral	1.29	44.03	60
Cultivos	0.10	3.24	79
Páramo	1.40	47.78	58
Pastos	0.13	4.44	79
TOTAL	2.93	100.00	

Tabla 4.5: Cobertura EMAPAL (Molobog).

Area Total	km2	% de area	Número de curva
Bosque montano	0.20	6.83	66
Páramo	1.23	41.98	58
Pastos	0.47	16.04	79
Pino	1.03	35.15	79
TOTAL	2.93	100.00	

Para la cuenca en el sector de Llaucay, en la tabla 4.6 se aprecia la cobertura del área de la cuenca con usos de suelo establecidos por SIG TIERRAS, dando como resultado un número de curva igual a 64.55; en la tabla 4.7 se aprecia la cobertura del área de la cuenca con usos de suelo establecidos por INF. CARTOGRÁFICA, dando como resultado un número de curva igual a 71.11; y, en la tabla 4.8 se aprecia la cobertura del área de la cuenca con usos de suelo establecidos por EMAPAL, dando como resultado un número de curva igual a 67.97; tomando en cuenta el valor de 69 para el trabajo.

Tabla 4.6: Cobertura SIG TIERRAS (Llaucay).

Area Total	km2	% de area	Número de curva
Pastizal	0.93	67.88	58
Vegetación	0.42	30.66	79
Plantación forestal	0.02	1.46	66
TOTAL	1.37	100.00	

Tabla 4.7: Cobertura INF.CARTOGRÁFICA (Llaucay).

Area Total	km2	% de area	Número de curva
Arado - erosionado - urbano	0.02	2.13	74
Bosque y matorral	0.16	17.02	66
Cultivos	0.18	19.15	79
Páramo	0.16	17.02	58
Pastos	0.42	44.68	79
TOTAL	0.94	100.00	

Tabla 4.8: Cobertura EMAPAL (Llaucay).

Area Total	km2	% de area	Número de curva
Bosque montano	0.33	35.10	66
Matorral bajo	0.001	0.12	79
Pastos	0.61	64.79	69
TOTAL	0.94	100.00	

4.3. Análisis multicriterio AHP

En las la tabla 4.9 se expone la ponderación de criterio con criterio respecto a la importancia de topografía (C1); hidrología (C2); calidad de agua (C3); condiciones demográficas (C4); y, impacto ambiental (C5) que tienen dentro del proceso de elección, el valor de consistencia de la matriz CR es de 0.09.

Tabla 4.9: Comparación de criterios.

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	Pesos W_c
C1	1	1/3	3	7	7	0.30
C2	3	1	3	9	5	0.45
C3	1/3	1/3	1	3	3	0.14
C4	1/7	1/9	1/3	1	1/3	0.04
C5	1/7	1/5	1/3	3	1	0.07

Las tablas 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 representan la comparación de cada una de las alternativas con respecto a cada criterio, dentro de estas se tienen los pesos representativos.

Tabla 4.10: Comparación de alternativas de acuerdo a C1.

Alternativas	Molobog	Llaucay	Pesos W_{ac}
Condoryacu	1	5	0.83
Llaucay	1/5	1	0.17

Tabla 4.11: Comparación de alternativas de acuerdo a C2.

Alternativas	Molobog	Llaucay	Pesos W_{ac}
Condoryacu	1	2	0.67
Llaucay	1/2	1	0.33

Tabla 4.12: Comparación de alternativas de acuerdo a C3.

Alternativas	Molobog	Llaucay	Pesos W_{ac}
Condoryacu	1	3	0.75
Llaucay	1/3	1	0.25

Tabla 4.13: Comparación de alternativas de acuerdo a C4.

Alternativas	Molobog	Llaucay	Pesos W_{ac}
Condoryacu	1	7	0.88
Llaucay	1/7	1	0.12

Tabla 4.14: Comparación de alternativas de acuerdo a C5.

Alternativas	Molobog	Llaucay	Pesos W_{ac}
Condoryacu	1	1/3	0.25
Llaucay	3	1	0.75

La alternativa más favorable para la colocación de un embalse mediante el análisis multicriterio AHP es en el sector de Molobog, puesto que en el proceso obtuvo

un mayor porcentaje de importancia de acuerdo con la tabla 4.15.

Tabla 4.15: Peso total.

Criterios	W_c	W_{ac}	
		Molobog	Llaucay
C1	0.302	0.83	0.17
C2	0.449	0.67	0.33
C3	0.137	0.75	0.25
C4	0.039	0.88	0.13
C5	0.073	0.25	0.75
W		0.71	0.29

4.4. Análisis de precipitación

En las figuras 4.4 y 4.5 se puede apreciar la gráfica obtenida en el software Hydrognomon de algunos de los modelos de distribución empleados con las precipitaciones de los meses con mayor y menor precipitación respectivamente, con el objetivo de obtener la precipitación máxima en distintos años, expresadas en las tablas 7.26 a 7.35. La información de los otros meses se puede apreciar en la sección Anexos.

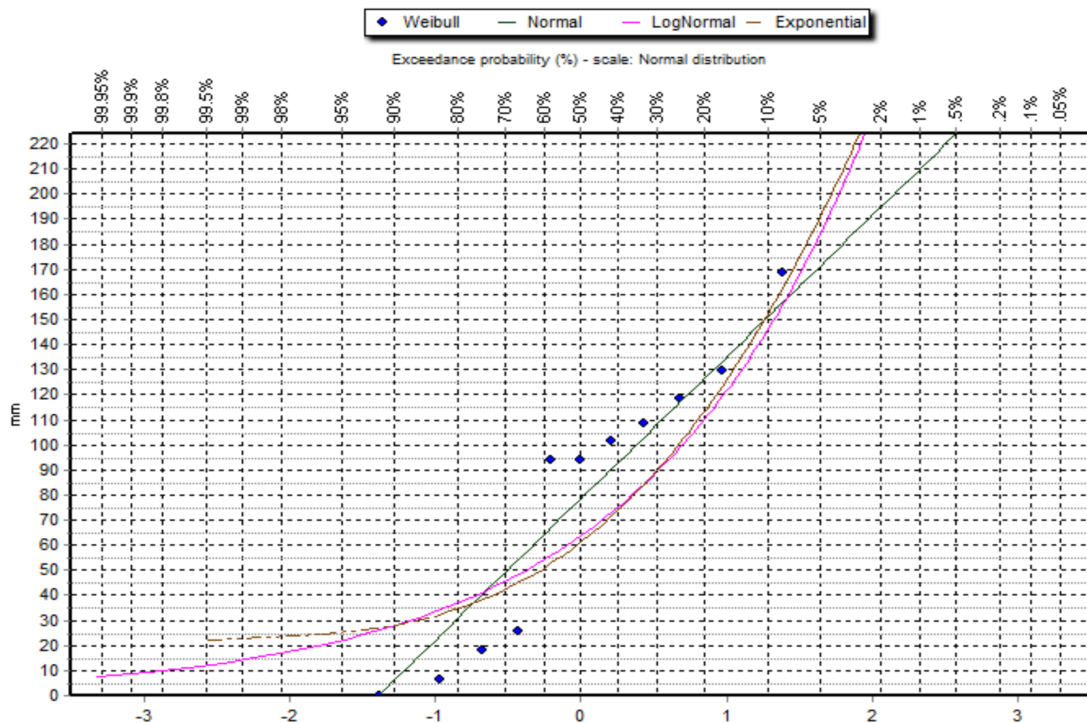


Figura 4.4: Modelos de distribución para el mes de abril.

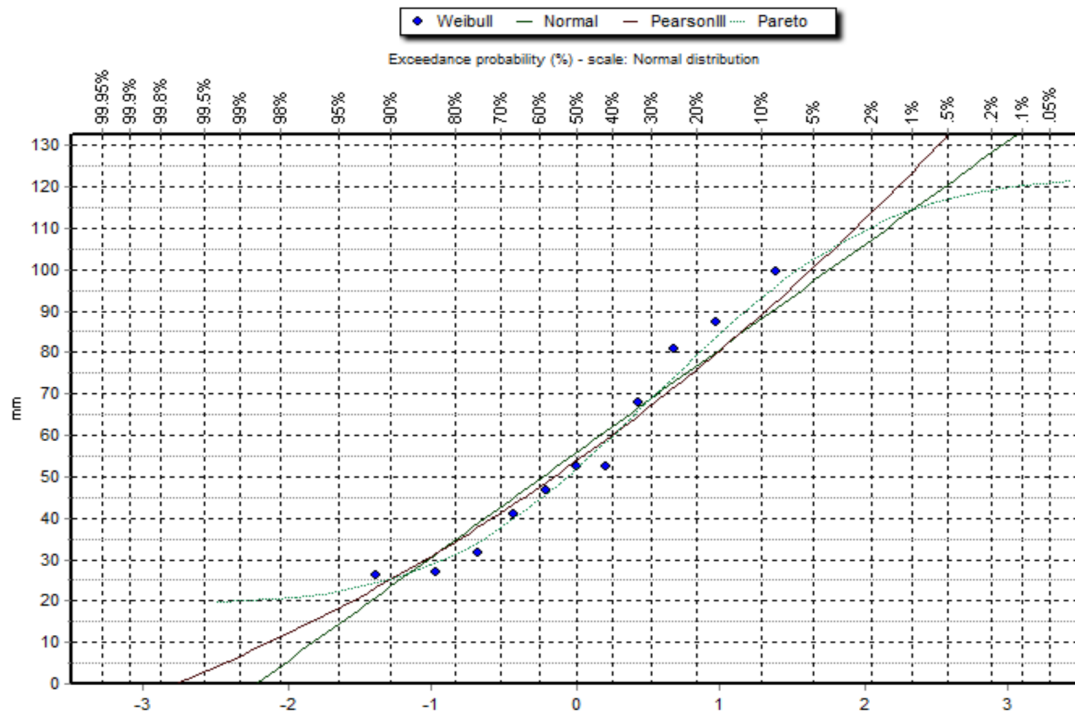


Figura 4.5: Modelos de distribución para el mes de septiembre.

Tabla 4.16: Precipitación máxima estimada para el mes de abril.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	78.6287	88.850
5	126.195	142.600
10	151.059	170.697
25	177.573	200.657
50	194.701	220.012
100	210.108	237.422
200	224.208	253.355
500	241.295	272.663
1000	253.281	286.208

Tabla 4.17: Precipitación máxima estimada para el mes de septiembre.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	50.8601	57.472
5	79.8592	90.241
10	95.0357	107.390
25	109.001	123.171
50	116.31	131.430
100	121.645	137.459
200	125.54	141.860
500	129.124	145.910
1000	131	148.030

Se construyó las curvas IDF de cada uno de los meses, en las figuras 4.6 y 4.7 se puede apreciar la curva IDF del mes abril siendo el de mayor precipitación y el mes de septiembre siendo el de menor; se puede apreciar las curvas de los demás meses en la sección Anexos. A su vez, en la tabla 4.18 se puede apreciar la ecuación para obtener la intensidad máxima de las curvas IDF obtenidas en cada uno de los meses de año mediante regresión lineal múltiple en una hoja de cálculo y comprobadas en el software Hidroesta, con la finalidad de emplearlas en la construcción de la tormenta de diseño empleada en el modelo.

Tabla 4.18: Intensidad máxima para distintos meses.

Mes	Ecuación
Enero	$I_{max} = \frac{867.1522 * T^{0.1603}}{D^{-0.75}}$
Febrero	$I_{max} = \frac{856.6517 * T^{0.1426}}{D^{-0.75}}$
Marzo	$I_{max} = \frac{908.9128 * T^{0.1501}}{D^{-0.75}}$
Abril	$I_{max} = \frac{1033.2622 * T^{0.1568}}{D^{-0.75}}$
Mayo	$I_{max} = \frac{1028.1672 * T^{0.1903}}{D^{-0.75}}$
Junio	$I_{max} = \frac{926.9525 * T^{0.1867}}{D^{-0.75}}$
Julio	$I_{max} = \frac{1022.2383 * T^{0.1603}}{D^{-0.75}}$
Agosto	$I_{max} = \frac{772.4057 * T^{0.1326}}{D^{-0.75}}$
Septiembre	$I_{max} = \frac{690.5490 * T^{0.1262}}{D^{-0.75}}$
Octubre	$I_{max} = \frac{988.1759 * T^{0.1529}}{D^{-0.75}}$
Noviembre	$I_{max} = \frac{797.6122 * T^{0.2612}}{D^{-0.75}}$
Diciembre	$I_{max} = \frac{900.3662 * T^{0.1377}}{D^{-0.75}}$

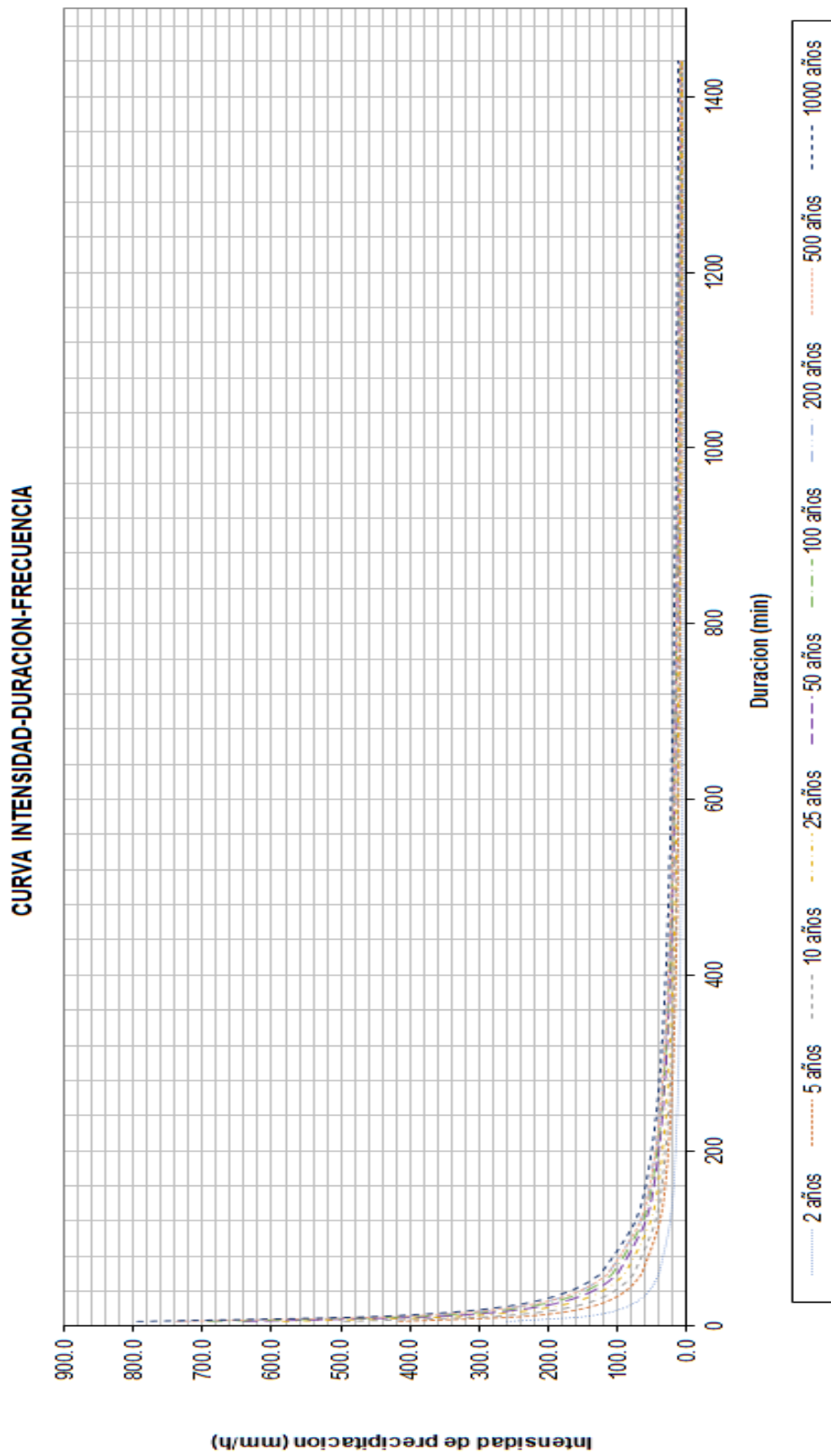


Figura 4.6: Curvas IDF para el mes de abril.

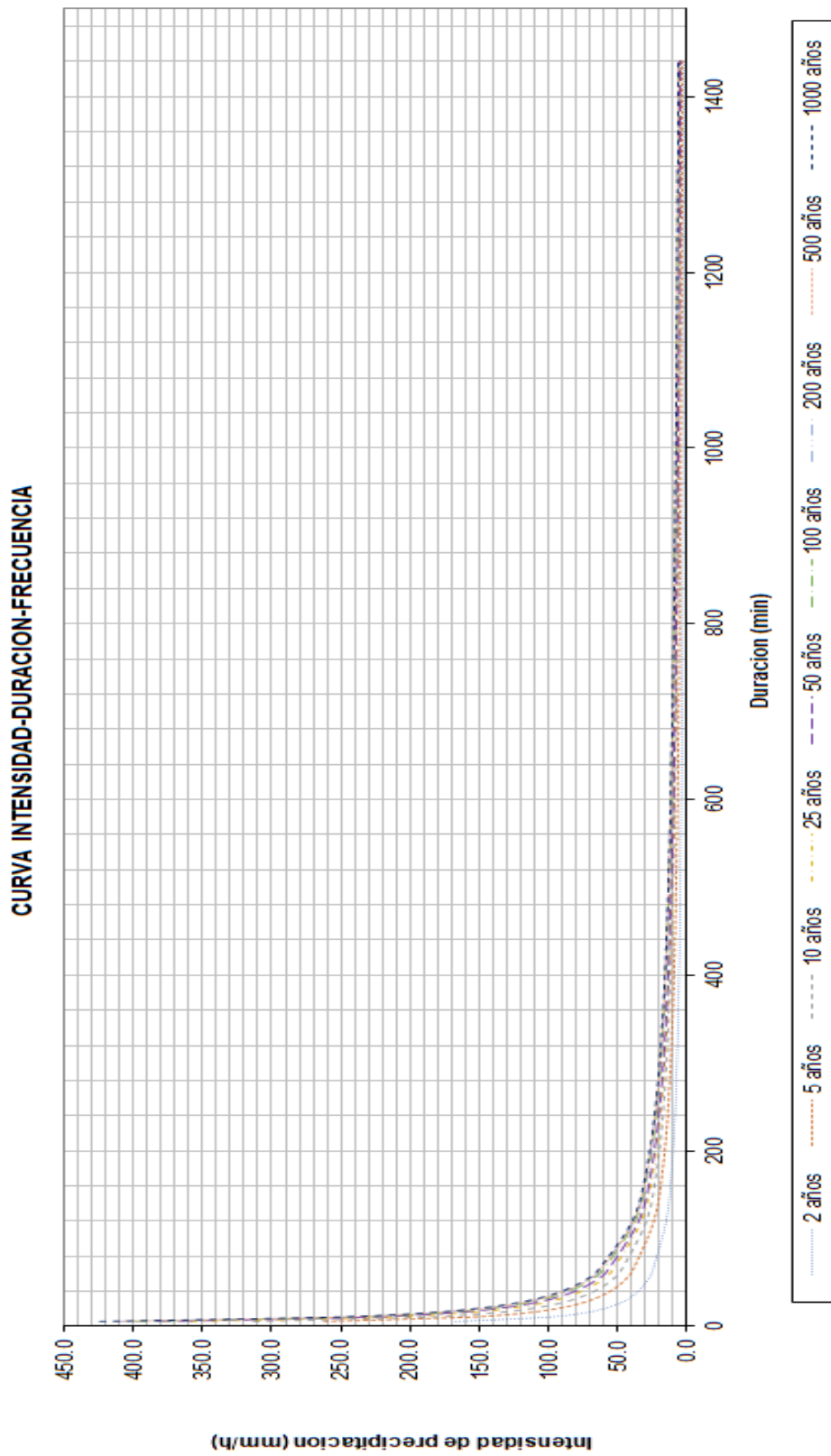
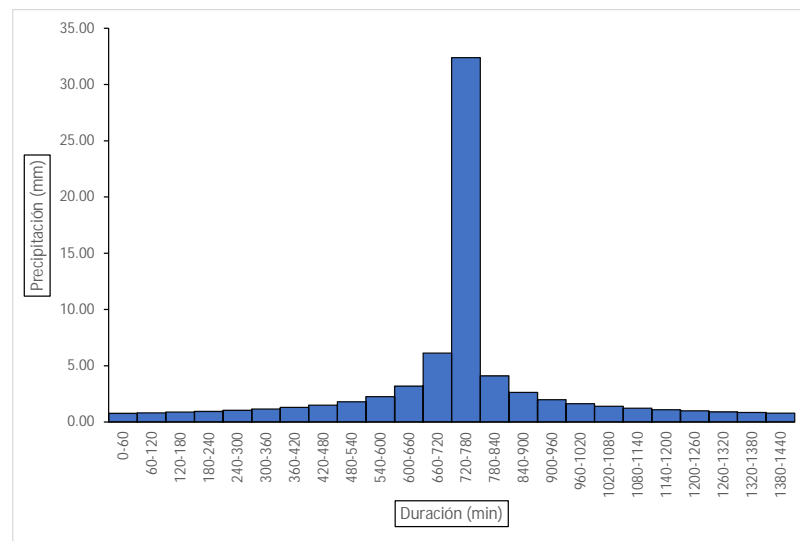


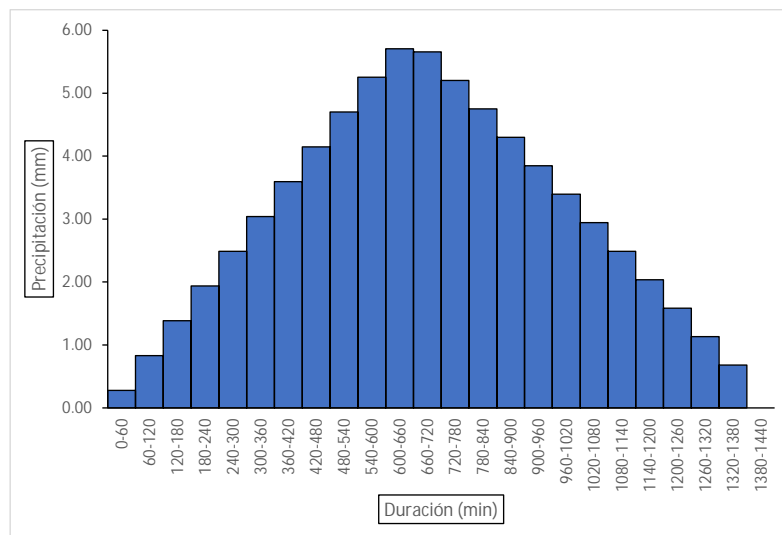
Figura 4.7: Curvas IDF para el mes de septiembre.

4.5. Tormenta de diseño

Los hietogramas expuestos de manera mensual en las figuras 4.8 y 4.9 muestran la tormenta de diseño por las metodologías empleadas de los meses con mayor y menor precipitación respectivamente. A su vez, la precipitación pico de cada uno de los hietogramas obtenidos que se encuentran expuestos en la sección Anexos se pueden apreciar en la tabla 4.19.

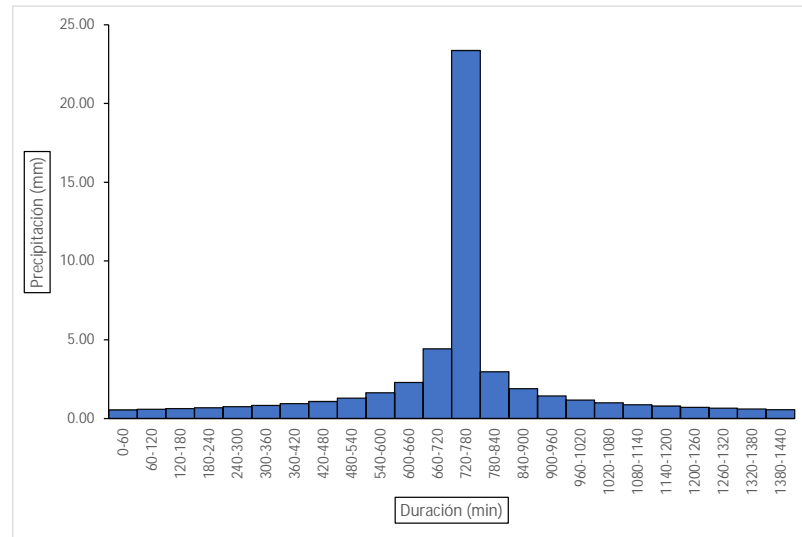


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

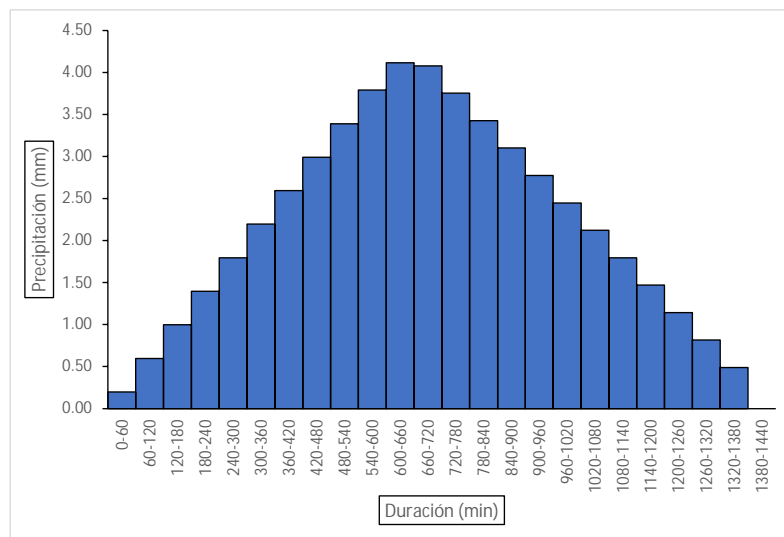


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 4.8: Tormenta de diseño para el mes de abril.



(a) Hietograma por el método de bloques alternos.



(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 4.9: Tormenta de diseño para el mes de septiembre.

Tabla 4.19: Precipitación pico de los hietogramas.

Mes	M. Bloques Alternos (mm)	M. Triangular (mm)
Enero	40.22	7.09
Febrero	39.74	7.00
Marzo	42.16	7.43
Abril	47.93	8.45
Mayo	47.69	8.40
Junio	43.00	7.58
Julio	47.42	8.36
Agosto	35.83	6.31
Septiembre	32.03	5.64
Octubre	45.84	8.08
Noviembre	37.00	6.52
Diciembre	41.76	7.36

4.6. Modelización hidrológica

Previo a la modelización hidrológica la herramienta digital HEC-HMS requiere del ingreso de algunas características de la cuenca como por ejemplo su área , número de curva, tiempo de retardo, entre otros; así mismo, es necesario definir la metodología que se va a emplear para el método de pérdida y de transformación, para lo cual, se ha empleado la metodología SCS.

En cuanto a los datos del hietograma de diseño se ingresó el correspondiente a cada uno de los meses del año empleando la metodología de los bloques alternos y el triangular, creando en el programa diferentes escenarios y obteniendo los resultados presentados en la tabla 4.20, donde se puede observar el caudal pico y el volumen de escurrimiento directo esperado en la cuenca, además de ello se determinó un promedio del mismo para su posterior análisis en el balance hidrológico.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 4.20: Resultados de la modelización hidrológica.

Meses	Método de Bloques Alternos		Método Triangular		Promedio	
	Caudal pico (m^3/s)	Volumen (m^3)	Caudal pico (m^3/s)	Volumen (m^3)	Caudal pico (m^3/s)	Volumen (m^3)
Enero	1,60	23300	0,7	23000	1,15	23150
Febrero	1,70	24600	0,8	24300	1,25	24450
Marzo	2,00	29100	0,9	28700	1,45	28900
Abril	2,90	39500	1,2	39000	2,05	39250
Mayo	2,20	31200	1	30900	1,60	31050
Junio	1,50	23000	0,7	22700	1,10	22850
Julio	2,00	28900	0,9	28500	1,45	28700
Agosto	1,30	20000	0,6	19700	0,95	19850
Septiembre	0,80	14000	0,5	13800	0,65	13900
Octubre	2,60	36400	1,1	35900	1,85	36150
Noviembre	0,20	6200	0,2	6100	0,20	6150
Diciembre	2,20	31000	0,9	30600	1,55	30800

4.7. Evapotranspiración

La obtención de la evapotranspiración potencial mediante la metodología propuesta por Thornthwaite se la realizó en una hoja de cálculo y en el software de manejo de SIG cuyos resultados se presentan en las tablas 4.21 y 4.22 respectivamente:

Tabla 4.21: Evapotranspiración potencial obtenida en una hoja de cálculo.

Mes	Días de cada mes	Temperatura media ($^{\circ}C$)	Horas de sol	Índice de calor mensual	ETP sin corregir (mm/mes)	ETP (mm/mes)
Enero	31	9,26	12,1	2,54	49,09	51,15
Febrero	28	9,22	12,1	2,53	48,88	46,01
Marzo	31	9,3	12,1	2,56	49,29	51,36
Abril	30	9,36	12,1	2,58	49,60	50,01
Mayo	31	9,2	12,1	2,52	48,78	50,83
Junio	30	8,56	12,1	2,26	45,51	45,89
Julio	31	7,91	12,1	2,00	42,19	43,96
Agosto	31	7,93	12,1	2,01	42,29	44,06
Septiembre	30	8,63	12,1	2,28	45,87	46,25
Octubre	31	9,05	12,1	2,46	48,02	50,03
Noviembre	30	9,24	12,1	2,53	48,99	49,39
Diciembre	31	9,37	12,1	2,59	49,65	51,73
Índice de calor anual =				28.86		
Exponente “a” =				0.96		

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 4.22: Evapotranspiración potencial obtenida en un software de manejo de SIG.

Mes	ETP (mm/mes)
Enero	50,57
Febrero	46,11
Marzo	51,17
Abril	49,83
Mayo	50,09
Junio	45,39
Julio	43,24
Agosto	43,79
Septiembre	45,98
Octubre	50,17
Noviembre	49,99
Diciembre	52,14

Finalmente se procedió a realizar un promedio de la evapotranspiración potencial como se puede apreciar en la tabla 4.23 para que a partir de ello se pueda realizar el respectivo balance hidrológico en el área de interés.

Tabla 4.23: Evapotranspiración potencial del área de estudio.

	Hoja de cálculo	Software de SIG	Promedio
Mes	ETP (mm/mes)	ETP (mm/mes)	ETP (mm/mes)
Enero	51,15	50,57	50,86
Febrero	46,01	46,11	46,06
Marzo	51,36	51,17	51,26
Abril	50,01	49,83	49,92
Mayo	50,83	50,09	50,46
Junio	45,89	45,39	45,64
Julio	43,96	43,24	43,60
Agosto	44,06	43,79	43,93
Septiembre	46,25	45,98	46,12
Octubre	50,03	50,17	50,10
Noviembre	49,39	49,99	49,69
Diciembre	51,73	52,14	51,94

4.8. Balance hídrico

A fin de conocer la cantidad de agua que se podría almacenar en una presa, se pretende realizar el balance hídrico en la cuenca Molobog para así determinar la cantidad de agua que se podría acumular durante cada uno de los meses del año; para la presente investigación se pretende construir una presa ubicada a 3176 *m.s.n.m.*,

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

esta poseerá aproximadamente 45 metros de altura, para ello se iniciará analizando la zona y el perfil topográfico donde se pretende ubicar la presa, las cuales son presentadas en las figuras 4.10 y 4.11 respectivamente.

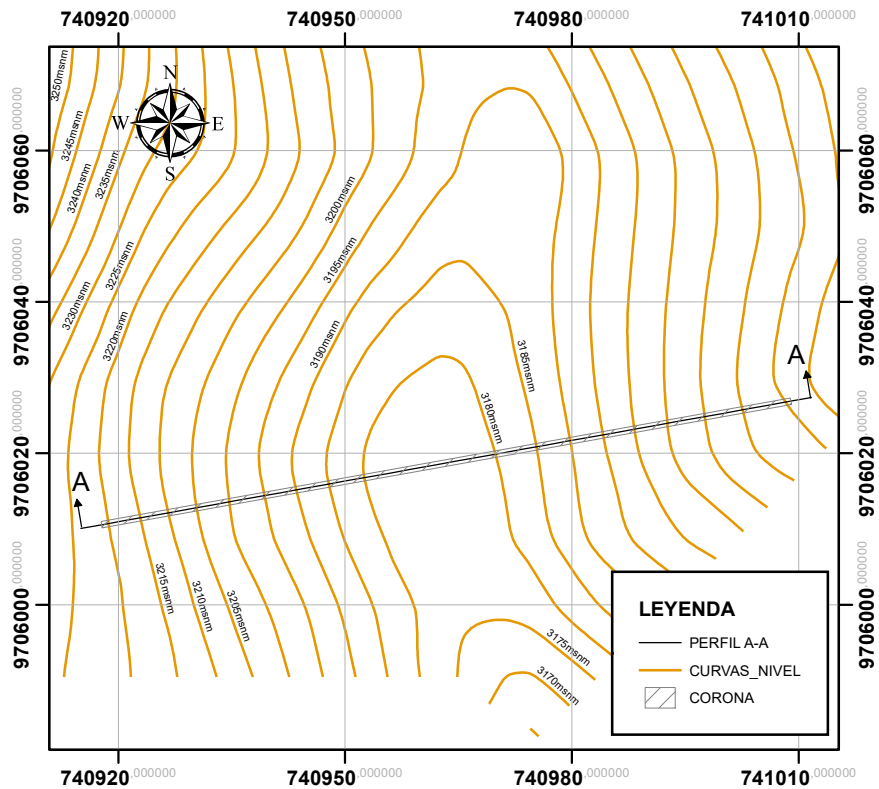


Figura 4.10: Zona propuesta para la construcción del embalse; escala 1:1000.

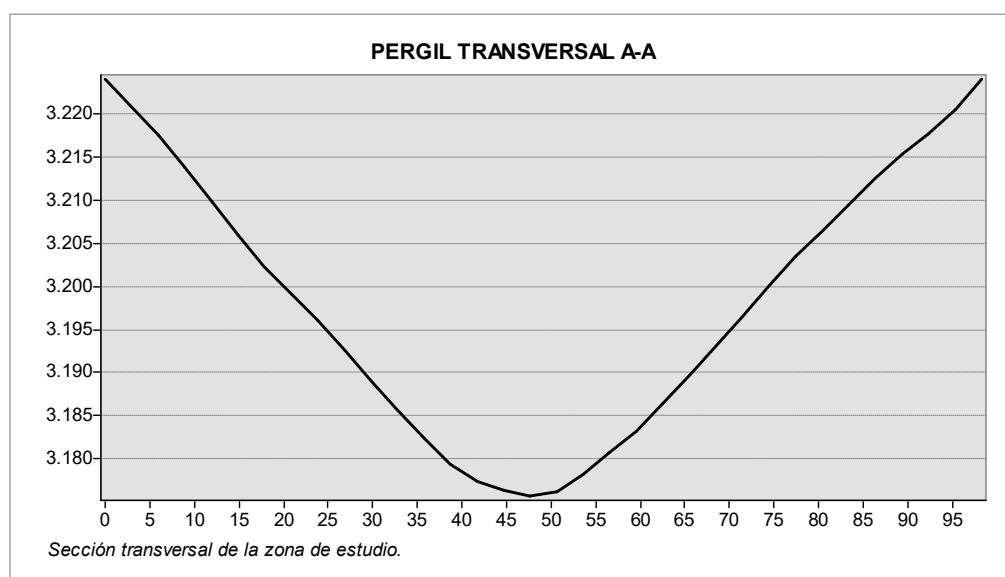


Figura 4.11: Perfil topográfico de la zona de estudio.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

A partir del perfil topográfico presentado en la figura 4.11 se determinó el área de inundación para la presa de 45 m, misma que es delimitada por el espejo de agua formado en la cota 3221 m.s.n.m. como se aprecia en la figura 4.12, debido a que el agua tiende a nivelarse como consecuencia de la presión atmosférica y de la gravedad, delimitándose así el área de inundación con la finalidad de evaluar el volumen que poseerá esa superficie tomando en consideración los efectos de la precipitación y la evapotranspiración. El área de inundación de la presa propuesta anteriormente abarcará una superficie de 11979 m² aproximadamente.

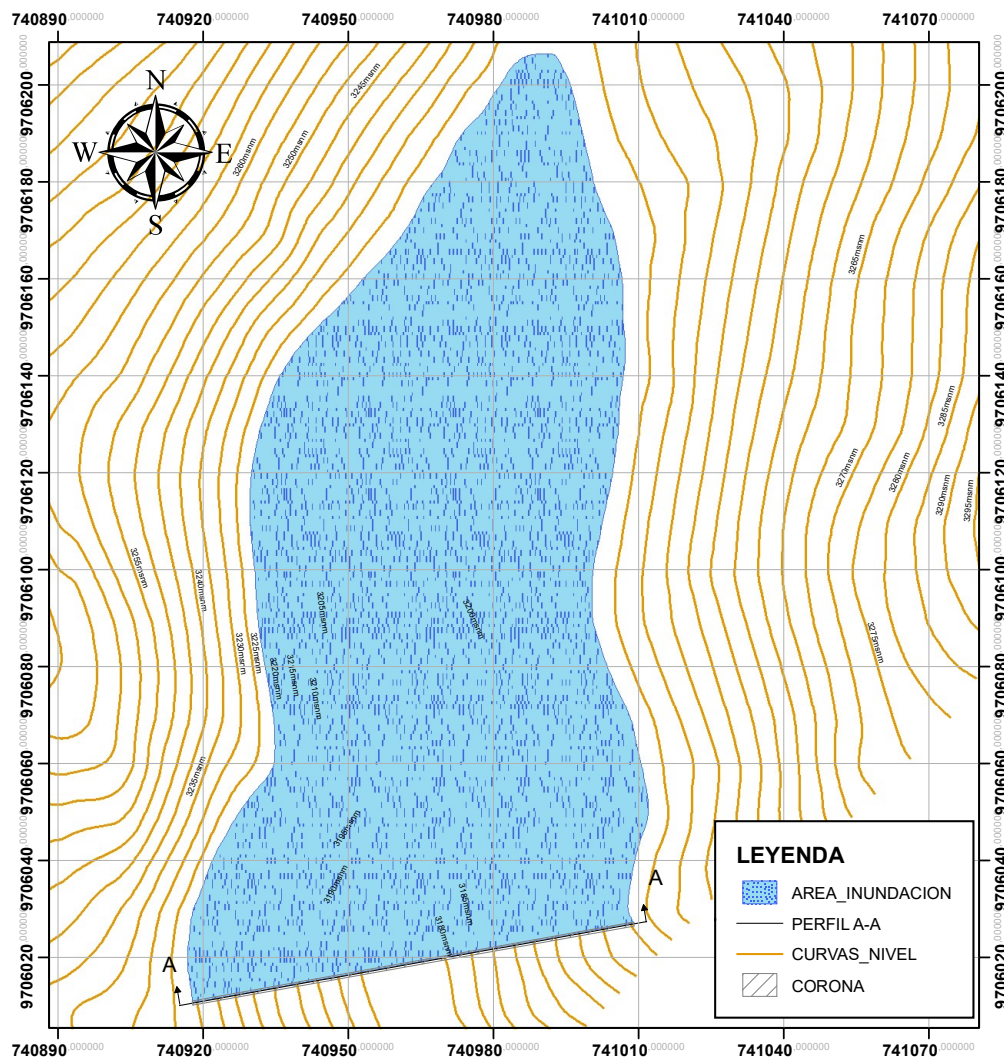


Figura 4.12: Área de inundación para una presa de 45 metros de altura; escala 1:1250.

Para obtener el caudal ecológico mensual presentado en la tabla 4.25 se emplearon los datos de caudal proporcionados por EMAPAL-EP, estos fueron calculados por el método del flotador donde se realizó varias muestras para determinar el caudal medio mensual en la Quebrada Condoryacu, estas muestras fueron obtenidas en las coordenadas que se presentan en la tabla 4.24.

Tabla 4.24: Punto de muestras para la medición del caudal.

MICROCUCENCA DEL RIO TABACAY			
Captaciones	Punto de toma de muestras		
	X	Y	msnm
Q. Condoryacu	741364	9705243	2969

Tabla 4.25: Caudal ecológico a considerar.

Mes	Caudal medio (l/s)	Caudal ecológico (l/s)	Caudal ecológico (m ³ /s)
Enero	156,72	15,67	0,016
Febrero	100,79	10,08	0,010
Marzo	152,19	15,22	0,015
Abril	209,22	20,92	0,021
Mayo	227,39	22,74	0,023
Junio	294,22	29,42	0,029
Julio	292,82	29,28	0,029
Agosto	198,35	19,83	0,020
Septiembre	183,70	18,37	0,018
Octubre	94,98	9,50	0,009
Noviembre	112,66	11,27	0,011
Diciembre	183,55	18,35	0,018

Una vez determinados todos los parámetros mencionados anteriormente es posible realizar el balance hidrológico del área de estudio para así estimar el volumen de agua a almacenar durante cada mes del año; en la tabla 4.26 se presentan los resultados obtenidos, considerando que el área de inundación abarcará una superficie de 11979 m².

Tabla 4.26: Volumen de agua determinado en el balance hídrico.

Mes	Tiempo (días)	Volumen de escurrimiento directo (m ³)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Precipitación (m)	Evapotranspiración potencial (m)	Volumen (m ³)	Volumen (Hm ³)
Enero	31	23150	0,016	0,0704	0,0509	675908	0,68
Febrero	28	24450	0,010	0,0671	0,0461	660468	0,66
Marzo	31	28900	0,015	0,0701	0,0513	855363	0,86
Abril	30	39250	0,021	0,0786	0,0499	1123613	1,12
Mayo	31	31050	0,023	0,0901	0,0505	902120	0,90
Junio	30	22850	0,029	0,0848	0,0456	609708	0,61
Julio	31	28700	0,029	0,0975	0,0436	811917	0,81
Agosto	31	19850	0,020	0,0675	0,0439	562506	0,56
Septiembre	30	13900	0,018	0,0533	0,0461	369471	0,37
Octubre	31	36150	0,009	0,0844	0,0501	1095622	1,10
Noviembre	30	6150	0,011	0,0819	0,0497	155685	0,16
Diciembre	31	30800	0,018	0,0704	0,0519	905860	0,91

4.9. Crecimiento poblacional

Con el fin de poder conocer el consumo de agua que se tiene en la actualidad, se procedió a estimar la población que existe en el año 2022, empleando como fundamento los datos históricos de la población, mismos que fueron presentados previamente en la tabla 3.1.

Se realizó la proyección poblacional mediante las metodologías de crecimiento lineal, geométrico y logarítmico, tanto para la ciudad de Azogues como para la parroquia Javier Loyola, obteniendo como resultado que el método de crecimiento lineal es el que mejor se asemeja al aumento poblacional, ya que presenta un error menor con respecto a las otras metodologías, es decir un error del 6.03 % y 9.95 % respectivamente.

Ante la ausencia de datos históricos de la parroquia Guapán la población futura se obtuvo mediante el método de crecimiento geométrico, tomando como dato la tasa de crecimiento anual de 3.86 %, mismo que fue facilitado por EMAPAL-EP, cuyo valor corresponde a la memoria técnica sobre el mejoramiento del sistema de distribución de agua potable de la ciudad [57], que fue presentada en el año 2007 y rige hasta la actualidad.

En la tabla 4.27 se puede apreciar la resolución de proyección para cada uno de las zonas que poseen el servicio de agua potable, dando como resultado un total de 47368 habitantes que gozan del servicio hoy en día.

Tabla 4.27: Población futura por el método de crecimiento geométrico.

Sector	Población del último censo (2010)	Población actual (2022)
Ciudad de Azogues	33848	43248
Javier Loyola	1361	1784
Guapán	1478	2336
TOTAL		47368

4.10. Demanda de la población

Para estimar las variaciones de consumo durante el año 2022 es necesario conocer la dotación, es decir, la cantidad de agua que consume cada uno de los habitantes del sector urbano y rural, para lo cual se tienen dotaciones de 298 y 186 $l * hab/dia$ respectivamente; para los respectivos cálculos de la presente investigación se asumió

una dotación de $298 \text{ l} * \text{hab}/\text{dia}$.

Para una población de 47368 habitantes y una dotación de $298 \text{ l} * \text{hab}/\text{dia}$, se tiene que el caudal que se debe captar es de $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$, de acuerdo a la normativa de diseño de abastecimiento y alcantarillado del país [56]; en la tabla 4.28 se puede apreciar los resultados obtenidos en términos de volumen para cada mes del año.

Tabla 4.28: Volumen a captar requerido para el consumo de la población.

Mes	Días de cada mes	Consumo (m^3)	Consumo (Hm^3)
Enero	31	1279277,05	1,28
Febrero	28	1155476,04	1,16
Marzo	31	1279277,05	1,28
Abril	30	1238010,05	1,24
Mayo	31	1279277,05	1,28
Junio	30	1238010,05	1,24
Julio	31	1279277,05	1,28
Agosto	31	1279277,05	1,28
Septiembre	30	1238010,05	1,24
Octubre	31	1279277,05	1,28
Noviembre	30	1238010,05	1,24
Diciembre	31	1279277,05	1,28

4.11. Capacidad de almacenamiento de la presa

En la tabla 4.29 se puede apreciar el volumen de almacenamiento acumulado que posee cada una de las abscisas generadas en la figura 3.2, por lo tanto, en la abscisa $0+209.98$ se tiene el volumen total que puede retener el embalse, para la presente investigación se tiene que un embalse de 45 m de altura puede almacenar un volumen total de 166435.61 m^3 aproximadamente. Finalmente en la figura 4.13 se puede apreciar el perfil longitudinal de la presa, la superficie libre del agua y el relieve del terreno del área de interés, para lo cual, en la presente investigación se consideró un borde libre (distancia entre la superficie libre del agua y la corona de la presa) de 2m .

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 4.29: Volumen de almacenamiento acumulado de cada abscisa.

Abscisa	Volumen acumulado (m^3)	Volumen acumulado (Hm^3)
0+000,00	0.00	0,000
0+010,00	813,26	0,001
0+020,00	6348,23	0,006
0+030,00	20775,43	0,021
0+040,00	39191,19	0,039
0+050,00	55512,20	0,056
0+060,00	69948,96	0,070
0+070,00	82926,71	0,083
0+080,00	94777,61	0,095
0+090,00	105954,50	0,106
0+100,00	116814,25	0,117
0+110,00	127343,84	0,127
0+120,00	137170,48	0,137
0+130,00	145871,02	0,146
0+140,00	153008,34	0,153
0+150,00	158289,19	0,158
0+160,00	161864,73	0,162
0+170,00	164156,19	0,164
0+180,00	165531,78	0,166
0+190,00	166217,52	0,166
0+200,00	166422,10	0,166
0+209,98	166435,61	0,166

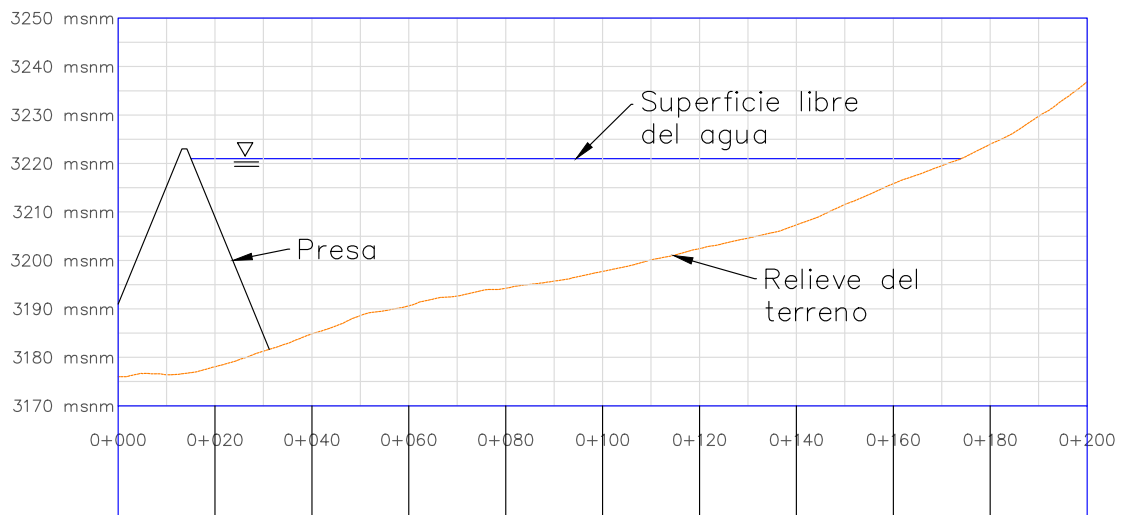


Figura 4.13: Perfil longitudinal de la zona de embalse.

4.12. Análisis de resultados

Características morfométricas

En las tablas 4.1 y 4.2 se representan las características morfométricas de las cuencas en los sectores de Molobog y Llaucay respectivamente. Las alturas máximas y mínimas de las cuencas son similares, este factor indica que no existe una mayor diferenciación entre los ecosistemas de estas cuencas [13]; también la poca existencia de varios pisos altitudinales indican poca variabilidad en estos. A su vez la elevación media de las cuencas señalan que existe una distribución de temperatura similar a lo largo de la cuenca, lo que representa una similitud entre sus microclimas [58].

Las cuencas de Molobog y Llacuay poseen valores de área inferiores a 25 km^2 , que de acuerdo con la clasificación de Barbosa [8] se encuentra en el grupo de cuenca muy pequeña, también pueden ser denominada como micro cuencas [59]; este factor representará que la influencia de afluentes obtenida del sector de Molobog es mayor a la del sector de Llaucay a una cuenca mayor.

El factor de forma obtenido en ambas cuencas indica que las crecientes que se producen son lentas y equilibradas debido a su forma alargada [59]. Sin embargo, el coeficiente de compacidad obtenido en la cuenca de Llaucay más cercano a la unidad, muestra que se tiene una mayor tendencia a las crecientes rápidas [58], lo cual genera un mayor desgaste en el suelo de niveles superiores, teniendo como efecto cambios en la morfología aguas abajo [13].

De acuerdo con la curva hipsométrica expuesta en la figura 4.2 se determina el ciclo de desgaste del suelo y edad de la cuenca [60], por la mayor cantidad de altitudes en las partes bajas de la cuenca, esta se encuentra entre una etapa de juventud y una etapa equilibrio, con una presencia de ríos jóvenes y maduros; por la cercanía que posee a la última etapa, la cuenca presenta un gran potencial erosivo, lo que provoca un aumento de sedimentos en el cauce[13]. La característica de pendiente media favorece a la erosión[60]; el valor de 46.49 % de pendiente media indican un terreno con un relieve fuertemente accidentado corroborando la existencia del desgaste del suelo por una mayor velocidad del cauce.

La cuenca de Molobog posee un tiempo de concentración de 90 min , pudiéndose clasificar como lento [58], este valor se ratifica en el alto porcentaje de pendiente que posee, presentando un mayor volumen de agua en el cauce, lo que significa un pico en la escorrentía de manera menos frecuente; sin embargo esta característica también representaría una mayor tasa de infiltración en el terreno, lo que presentaría

una mayor cantidad de agua subsuperficial circulando [60].

Número de curva

La determinación del número de curva expuestos en las tablas 4.5 a 4.3 para la cuenca de Molobog indican que existe páramo en el gran parte de ese sector, esta tipología de suelo es caracterizada principalmente por su alta tasa de infiltración [61]; esta característica ocasionaría una disminución de la escorrentía cuando exista una gran presencia de humedad [62]. En la cuenca de Llaucay se presenta una mayor existencia de pastizales en la mayoría de su superficie, el cual se caracteriza por ser propicio para la escorrentía al ser un suelo compactado que limita la infiltración [63].

Valores de número de curva cercanos a 100 favorecen a la escorrentía [64], de manera que la cuenca de Llaucay posee una menor tasa de infiltración que la cuenca de Molobog al tener un número de curva mayor y, se justifica por la tipología de suelo que predomina en la zona.

Elección multicriterio

El nivel aceptable de índice de consistencia para la concordancia de la matriz no deberá ser superior a 0.1 [40], de tal manera que el valor 0.09 obtenido en la matriz de criterios expuesta en la tabla 4.9 tiene un nivel de consistencia aceptable, por lo que no requiere de un ajuste en sus valores de ponderación. Las matrices que poseen un número de variables a ponderar menor o igual a 2, no es necesario verificar el índice de consistencia debido a que el índice aleatorio de insistencia es de 0 [40].

El peso global obtenido en el análisis, muestran a Molobog como la mejor alternativa para la colocación del embalse; esto se justifica con los pesos obtenidos en la comparación de alternativas respecto a cada uno de los criterios evaluados expuestos en las tablas 4.10 a 4.14, puesto que muestran una mayor inclinación a favor de la alternativa Molobog en los cuatro primeros criterios.

Precipitación

Se trabajó con un registro de datos de precipitación de 10 años expuestos en la tabla 7.13 donde se aprecia que las precipitaciones anuales superan los 800 *mm*, exceptuando los años 2010 y 2019, teniendo su mayor pico promedio en el mes de julio y su menor pico en el mes de septiembre. En el sector se pueden encontrar

precipitaciones de entre los 750-1250 *mm* al año y se distribuyen uniformemente en los meses [55].

Siendo un factor necesario para la construcción de curvas IDF para la metodología empleada, el valor de la precipitación máxima en 24 *h* en distintos periodos de retorno [65]. En la distribución de frecuencia de precipitaciones se empleó 27 distribuciones estadísticas que proporciona el software hydrognomon, de las cuales, las distribuciones que más se aproximaron por la prueba gráfica y de Smirnov-Kolmogorov fueron Pareto, Normal y Gumbel por varios métodos estadísticos, siendo esta última una de las más empleadas en el campo de la ingeniería [65]; lo cual indica que los datos poseen una buena calidad de ajuste.

Para datos de estaciones pluviométricas se proponen factores de corrección [15], de manera que se obtiene nuevos datos de precipitación máxima con el factor de corrección 1.3. Estos valores son transformados en intensidad de acuerdo a la metodología Dick & Peschke para la construcción de curvas IDF de distintos años como periodos de retorno, estas muestran un mayor grado de intensidad en los primeros 30 *min* de la tormenta; y, a su vez son de gran utilidad para la estimación de caudales máximos en ríos que no poseen registros de medición diarios [65].

Se emplea el proceso de regresión lineal múltiple para cuencas que carezcan de una gran cantidad de registros de precipitación, a fin de conocer la ecuación de intensidad máxima de cada curva [66], el proceso de regresión en la hoja de cálculo y software HidroEsta muestran las ecuaciones de cada una de las curvas, las cuales no muestran mayor diferencia en sus coeficientes *k*, *m* y *n*.

Tormenta de diseño

Se realizaron hietogramas por dos metodologías en base a las curvas IDF obtenidas, se puede apreciar una variación notable de la precipitación pico entre el hietograma de bloques alternos y el hietograma triangular, sin embargo estos poseen un volumen de precipitación bastante similar; en base al estudio realizado por Balastre [29] el hietograma triangular infraestima las tormentas producidas en el tiempo pico, de forma que se representa adecuadamente el evento de precipitación, no obstante ambas metodologías guardan similitud en el volumen de lluvia acumulado y tiempo en llegar a la máxima precipitación, por lo que no presentaran variaciones significativas en sus hietogramas.

Los hietogramas poseen una duración de 24 horas con intervalos de 60 minutos,

en base a los estudios que implementan esta metodología para el estudio hidrológico con la ayuda del software HEC-HMS [65] y [67], siendo de vital importancia para la determinación de volúmenes de circulación [41].

Modelización hidrológica con HEC-HMS

El caudal pico promedio estimado de la cuenca de Molobog para un periodo de retorno de 1 año mediante el método de bloques alternos y triangular da como resultado $15.25 \text{ m}^3/\text{s}$, un valor cercano al determinado por Burgos [68], ya que en su investigación obtuvo un valor de $20.3 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 2 años.

Se puede realizar una comparación entre la cuenca Molobog y la cuenca analizada por Burgos [68] ya que las mismas poseen un área similar, es decir 3.36 km^2 y 5.42 km^2 , la variación entre los caudales pico determinados mediante el software HEC-HMS se debe a la diferencia entre sus áreas, a su geolocalización y por lo tanto a la diferencia de precipitación que existen entre sus zonas.

Evapotranspiración

La evapotranspiración para el presente estudio ha sido estimada empleando la metodología propuesta por Thornthwaite, dicho valor es fuertemente influenciado por la altura a la que se encuentre y consecuentemente por efectos térmicos [69], es así, que en Papallacta (Napo, Ecuador) a una elevación de 3150 m.s.n.m. el valor de su evapotranspiración anual es de 589 mm , mientras que en la cuenca Molobog a una altura que varía entre los 3163.63 m.s.n.m. y 3723.59 m.s.n.m. la evapotranspiración anual es de 529 mm , dando como resultado un valor semejante y coherente a lo expuesto en la presente investigación.

Previamente la empresa EMAPAL-EP realizó una consultoría por parte del ingeniero Bolívar Peñafiel Gonzales [70], con el objetivo de implementar el proyecto “Presa LLaucay“, en el cual obtuvieron como resultado una evapotranspiración anual que varía de 600 mm a 700 mm , cuyo valor es muy similar al determinado en la cuenca Molobog, ya que la misma posee cierta afinidad con el sector de LLaucay por su cercanía, ya que ambas pertenecen al cantón Azogues.

Balance hídrico

En la parroquia Guapán, en el balance hídrico analizado en su Plan de Ordenamiento Territorial [55], se pueden encontrar valores que presentan superávit en algunos meses del año, uno de ellos es el mes de abril, característica semejante al balance hídrico realizado en la cuenca Molobog, ya que el mes de abril representa el mes que posee uno de los mayores volúmenes con respecto al resto, como se puede apreciar en la figura 4.14.

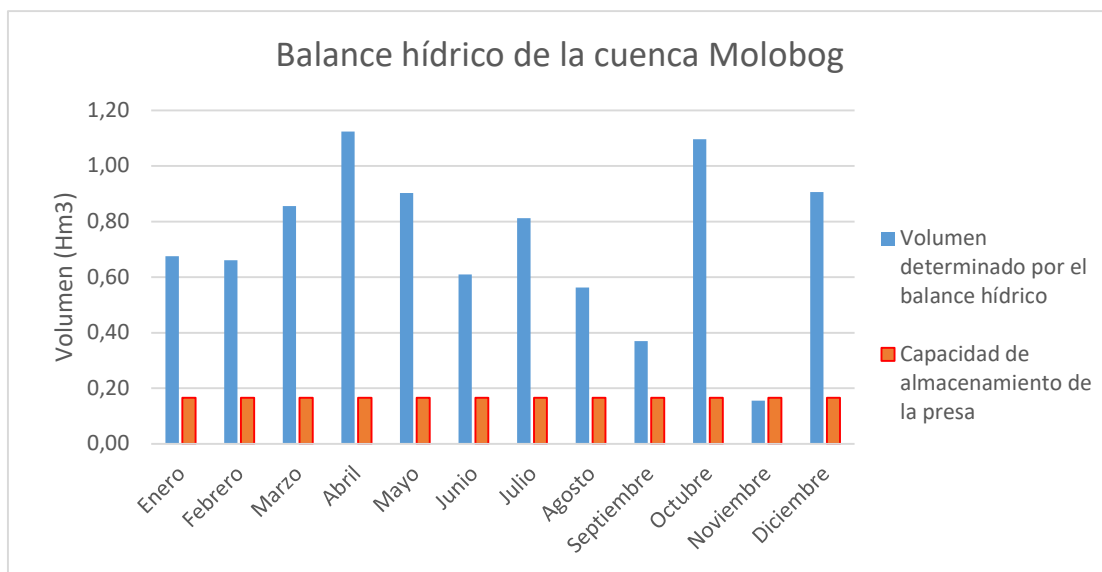


Figura 4.14: Balance hídrico para la presa de 45m de altura.

Así mismo, con base en la figura 4.14 se puede apreciar que durante casi todos los meses del año, la presa de 45 m de altura estará al 100% de su capacidad, a excepción del mes de noviembre, ya que el volumen de agua determinado en el balance hídrico no supera a la capacidad de almacenamiento de la presa, es decir, la misma estará a un 93% de su capacidad.

La presa propuesta no se encuentra en capacidad de almacenar toda la cantidad de agua calculada en el balance hídrico, es así que, en la tabla 4.30 se puede observar el caudal del río aguas abajo de la captación, el cual siempre estará circulando a lo largo de su cauce, cumpliendo así con un caudal ecológico que tiene como objetivo la conservación, restauración y manejo del ecosistema acuático [71].

Tabla 4.30: Caudal del río aguas abajo de la captación.

Mes	Volumen del balance hídrico (Hm^3)	Captación presa (Hm^3)	Volumen del río (Hm^3)	Caudal del río (m^3/s)
Enero	0,676	0,166	0,51	0,19
Febrero	0,660	0,166	0,49	0,20
Marzo	0,855	0,166	0,69	0,26
Abril	1,124	0,166	0,96	0,37
Mayo	0,902	0,166	0,74	0,27
Junio	0,610	0,166	0,44	0,17
Julio	0,812	0,166	0,65	0,24
Agosto	0,563	0,166	0,40	0,15
Septiembre	0,369	0,166	0,20	0,08
Octubre	1,096	0,166	0,93	0,35
Noviembre	0,156	0,166	-0,01	0,00
Diciembre	0,906	0,166	0,74	0,28

Proyección poblacional

El cálculo de la población futura fue estimada empleando la metodología de crecimiento geométrico debido a que esta es la que mejor se adapta al crecimiento de la población, por lo tanto posee un error menor con respecto al resto de metodologías, todo esto se corrobora tomando como referencia la memoria técnica sobre la ampliación del sistema de abastecimiento de la ciudad [57], ya que establece que las tendencias que mejor se adaptan a la población de Azogues y sus parroquias son las tasas de crecimiento geométricas.

Se realizó una proyección poblacional hasta el año 2030 con el objetivo de poder comparar los resultados obtenidos tanto en la memoria técnica sobre la ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable de la ciudad de Azogues [57] como la estimada en la presente investigación, donde se observar en la tabla 4.31 cierta variación en cuanto a los valores obtenidos, esto debido a que la memoria técnica fue desarrollada en el año 2007 y en ese entonces el último censo realizado fue en el año 2001, mientras que en la actualidad se poseen datos de población hasta el año 2010.

Tabla 4.31: Comparación del número de habitantes en el año 2030.

Sector	Memoria Técnica	Estimada
Ciudad de Azogues	56372	53306
Javier Loyola	1678	2333
Guapán	2769	3171

Demanda de la población

En la figura 4.15 se puede apreciar los resultados obtenidos del volumen de captación requerido para la población del año 2022 y el volumen almacenado por una presa de 45 m de altura, llegando a determinar que en el sector de Molobog la captación que se propone puede llegar a satisfacer un 20 % de la demanda que requiere la población; sin embargo, en el mes de noviembre no se esperaría la satisfacción requerida, ya que en es el mes donde la presa al no estar al 100 % de su capacidad (ver figura 4.14) esta cubriría un 19 % de la demanda de los habitantes.

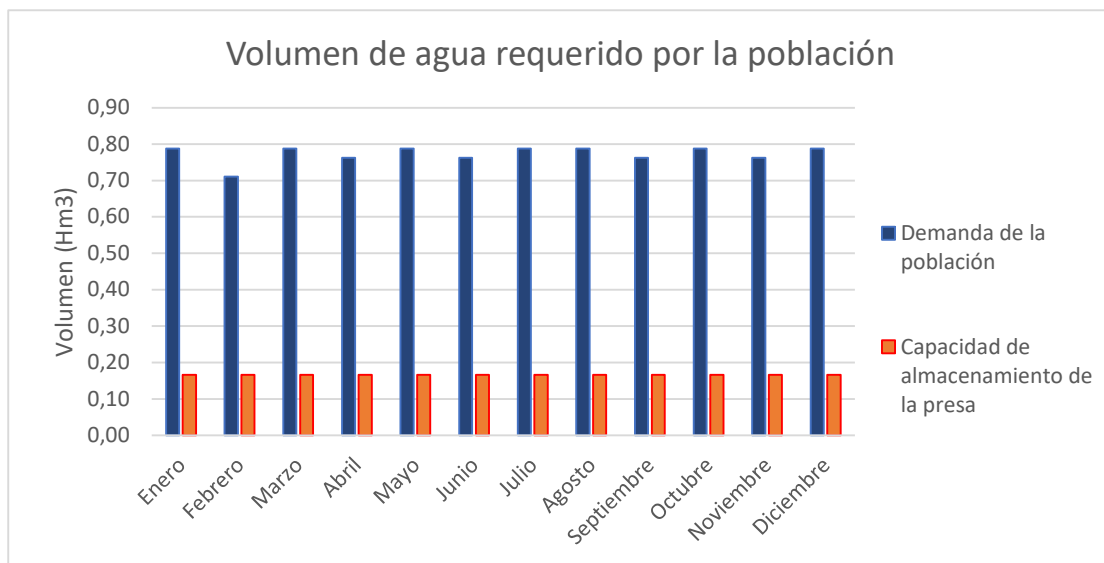


Figura 4.15: Demanda de agua requerida para el área urbana y rural.

Sección 5

Conclusiones

En este trabajo se generó una estrategia de abastecimiento de agua para la ciudad de Azogues mediante un análisis hidrológico para el desarrollo de un embalse en el sector de Molobog que permitirá el almacenamiento mensual de 0.17 Hm^3 , siendo esta estrategia una de las posibles soluciones para la dotación de agua para la ciudad en un futuro.

La recopilación de información permitió obtener una percepción más clara de la topografía de los sectores de Molobog y Llaucay para la implementación del embalse, a su vez un software de manejo de SIG permitió delimitar las cuencas hidrográficas en ambos lugares, siendo posible clasificar a las cuencas en base a las distintas características de forma, relieve y drenaje.

En base a los criterios de topografía, hidrología, calidad de agua, condiciones demográficas e impacto ambiental, a través del método de proceso analítico jerárquico (AHP) arrojó al sector de Molobog como la mejor alternativa para la construcción del embalse, obteniendo un mayor peso en las matrices de pares con respecto al sector de Llaucay.

Se construyeron curvas IDF con ayuda del software Hydrognomon en el análisis estadístico, para cada uno de los meses del año implementando la metodología Dick & Peschke, siendo también necesario realizar el proceso de regresión lineal múltiple, con el que se obtuvo las distintas ecuaciones que representaban a cada una de las curvas que fueron implementadas en los hidrogramas de diseño de 24 horas.

El desarrollo del modelo de simulación hidrológica, con la introducción del área de la cuenca, la tormenta de diseño, número de curva, tiempo de retraso, entre otras, permitió conocer el caudal pico que se presentará en cada uno de los meses a lo largo de un año, logrando así determinar el volumen de escurrimiento directo a lo largo

del cauce.

Se realizó el balance hídrico de la cuenca analizando diferentes aspectos como el volumen de escurrimiento directo, caudal ecológico, altura tanto de precipitación como de evapotranspiración potencial y el área de inundación que presenta la presa de 45 m de altura, para así determinar el volumen de agua que puede presentar cada uno de los meses, sin embargo, considerando el relieve del terreno y la presa propuesta, esta no puede almacenar toda la cantidad determinada en el balance hídrico, a pesar de ello, la captación propuesta puede llegar a satisfacer un 20% de la demanda de la población, determinando así la factibilidad de la misma.

Recomendaciones

Los resultados de la presente investigación pueden ser implementados en estudios posteriores en referencia a la creación de un embalse en el sector Molobog como una posible estrategia para el abastecimiento futuro a los habitantes de la ciudad de Azogues.

El software Hydrognomon presento excelentes resultados en los distintos modelos de distribución estadística, por lo que se recomienda su implementación en estudios hidrológicos similares, así como parte de la materia de estudio a lo largo de la carrera; al ser un programa intuitivo y con licencia libre.

La cantidad de datos de precipitación es de vital importancia en la hidrología estadística, proporcionando mejores resultados al tener un mayor número de datos, por lo que es de vital importancia para futuros proyectos que la empresa EMAPAL-EP continúe con el registro de estos.

Sección 6

Bibliografía

- [1] R. Ortiz y Rodrigues, «Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática.,» *Revista Logos Ciencia & Tecnología.*, vol. 9, n.º 1, págs. 100-109, 2017.
- [2] C. Chamba y V. Toapanta, «Estudio de los sistemas comunitarios de agua potable existentes en la zona Pesillo-Imbabura; análisis de las fuentes hídricas, medidas de protección e infraestructura utilizada en el tratamiento de agua para consumo humano.,» 2015.
- [3] J. Córdova, «Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales.,» 2015.
- [4] C. Quispe y J. Yandún, «Diseño de la conducción de agua para riego desde el reservorio Culpiro hasta el reservorio Santa Isabel, en la parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe.,» 2018.
- [5] J. Zhu, G. Wright, J. Wang y X. Wang, «A Critical Review of the Integration of Geographic Information System and Building Information Modelling at the Data Level.,» *ISPRS International Journal of Geo-Information 2018*, vol. 7, n.º 2, pág. 66, 2018.
- [6] N. Surendar y R. Nisha, «An Integrated Hydrologic and Hydraulic Flood Modeling Study for a Medium-Sized Ungauged Urban Catchment Area: A Case Study of Tiruchirappalli City Using HEC-HMS and HEC-RAS.,» *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A.*, vol. 9, n.º 101, págs. 381-398, 2020.
- [7] L. Diaz y A. Jairo, *Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casanare.* Universidad Católica de Colombia, 2018.

- [8] E. Barbosa, *Desarrollo de herramientas de ArcGIS para el cálculo de indicadores físicos y socioeconómicos de cuencas hidrográficas*. Universidad Autónoma de Querétaro, 2011.
- [9] B. L. Cardona, «Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas,» *Maestría en Energía y Ambiente*, 2012.
- [10] Y. Rodríguez, *Determinación de las relaciones entre los parámetros geomorfológicos de las subcuencas de la cuenca marañón mediante Gis, 2016*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2018.
- [11] C. P. Quindio, *Plan de Ordenación y manejo de la cuenca del río La Vieja*. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2018.
- [12] S. Ibañez Asensio, H. Moreno Ramón y J. M. Gisbert Blanquer, «Morfología de las cuencas hidrológicas,» 2011.
- [13] B. Cruz, F. Gaspari, A. Rodríguez, F. Carrilo y J. Téllez, «Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México,» *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, n.º 64, pág. 66, 2015.
- [14] J. Núñez y K. Verbist, *Guía metodológica para la aplicación del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías basado en L-momentos y resultados de aplicación en América Latina*. Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2010.
- [15] D. Mondragon, *Generación de intensidades máximas de la estación pluviométrica Pucará*. Universidad Nacional de Cajamarca, 2021.
- [16] J. Gómez, J. Aparicio y C. Patiño, *Manual de análisis de frecuencias en hidrología*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010.
- [17] K. Cuti, *Drenaje pluvial urbano en la localidad de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.
- [18] E. Salazar, *Distribución Generalizada de Pareto: estimación de parámetros con/sin datos censurados y aplicaciones*. Universidad Central del Ecuador, 2017.
- [19] R. Oosterbaan, «Frequency and regression analysis of hydrologic data,» *Drainage principles and applications, Publication*, vol. 16, págs. 175-223, 1994.
- [20] M. Villón, *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2002.
- [21] S. Kozanis, A. Christofides, N. Mamassis, A. Efstratiadis y D. Koutsoyiannis, «Hydrognomon - open source software for the analysis of hydrological data,» mayo de 2010. DOI: 10.13140/RG.2.2.21350.83527.

- [22] A. Bateman, *Hidrología básica y aplicada*. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos, 2007.
- [23] F. Quispe, *Generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno*. Universidad Alas Peruanas, 2018.
- [24] M. Navarro, *Diseño y evaluación hidrológica del tramo del eje vial GuadalupeCaballo Blanco del plan vial de la ciudad de Cartago a la altura de Dulce Nombre*. Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción, 2009.
- [25] M. Gamarra, «Metodología para la estimación de parámetros de cálculo de tormentas de diseño con datos pluviométricos en Bolivia,» *Ventana Científica*, vol. 11, n.º 18, 2021.
- [26] N. Gonzales, *Análisis del riesgo por inundaciones en la cuenca de río Yucaes sector Muyurina - Ayacucho, 2014*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2016.
- [27] M. Villón, «Hidroesta, software para cálculos hidrológicos y estadísticos aplicados a la hidrología.,» *Matemática, Educación e Internet*, n.º 6, págs. 85-92, 2013.
- [28] A. Breña y M. Jacobo, *Principios y Fundamentos de la Hidrología superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana, 2009.
- [29] R. Balbaste, *Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en la hidrología urbana*. Universidad Politécnica de Valencia, 2018.
- [30] P. Martínez, P. Martínez y S. Castaño, *Fundamentos de Hidrogeología*. Mundi-Prensa, 2006.
- [31] Y. Loor, *Estudio del balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas sector San Juan y San Bartolomé en el área de interceptación con el bosque y vegetación protector Aguarongo*. Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [32] P. Duque, R. Cajamarca, B. Wemple y M. Delgado, «Estimación del balance hídrico de una cuenca andina tropical,» *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, vol. 29, n.º 1, págs. 56-69, 2019.
- [33] J. Cabrera, L. Timbe y P. Crespo, «Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo.,» *DYNA*, vol. 86, n.º 210, págs. 338-344, 2019.

- [34] W. Scharffenberg, *HEC-HMS User's Manual*. 2016, pág. 623. dirección: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.7/release-notes/v-4-7-0-release-notes>.
- [35] L. Carrera, Y. Rodríguez López y M. Garrido, *Metodología para la modelación distribuida con el software HEC-HMS*. jul. de 2013.
- [36] V. T. M. Chow, *Hidrología Aplicada*. 1994, págs. 1-14.
- [37] J. J. Vélez Upegui y A. Botero Gutiérrez, «Estimacion Del Tiempo Concentracion Y De Rezago En La Cuenca Experimental Urbana De La Quebrada San Luis , Manizales,» *Dyna*, vol. 165, n.º 165, págs. 58-71, 2010. dirección: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640>.
- [38] G. Fernández, *Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la direccion integrada de proyectos de ingeniería civil*. Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [39] J. Mayor, S. Botero y D. Gonzáles, «Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia.,» *SciELO*, n.º 20, págs. 56-74, 2016.
- [40] Y. Minatour, J. Khazaei y M. Ataei, «Earth dam site selection using the analytic hierarchy process (AHP): A case study in the west of Iran,» *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 6, 2012.
- [41] E. Nantes, «El método analytic hierarchy process para la toma de decisiones. Repaso de la metodología y aplicaciones.,» *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, vol. 27, n.º 46, págs. 54-73, 2019.
- [42] F. Cortés, M. García y P. Aragónes, «Selección de una tecnología de banda ancha para la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá., usando una técnica de decisión multicriterio.,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 27, n.º 1, págs. 132-137, 2007.
- [43] R. López, *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado*. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.
- [44] M. de Agricultura y Ganadería (MAG), *Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS)*, 2018. dirección: <http://www.sigtierras.gob.ec/>.
- [45] *Emapal-EP*. dirección: <https://www.emapal.gob.ec/> (visitado 15-09-2022).
- [46] H. Pilco, *Modelación Hidrológica Distribuida Especializada Usando HEC-HMS para la Represa Chirimayuni-Moquegua*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna, 2013.

- [47] E. Sardoi, N. Rostami, S. Khalighi y S. Taheri, «Calibration of loss estimation methods in HEC-HMS for simulation of surface runoff (case study: Amirkabir dam watershed, Iran),» *Advances in Environmental Biology*, vol. 6, 2012.
- [48] V. Estrada y A. Reyes, «Modelación hidrológica del río Levisa con el modelo HEC-HMS,» *Ingeniería hidráulica y ambiental*, vol. 32, n.º 2, págs. 3-9, 2011.
- [49] J. García, *Determinación del hietograma de tormenta sintético para la micro-cuenca .^{EI} Zapallo.^{en} la zona periurbana de la ciudad de Portoviejo*. Pontífica Universidad Católica del Ecuador, 2020.
- [50] S. E. Fick y R. J. Hijmans, «WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas,» *International Journal of Climatology*, vol. 37, n.º 12, págs. 4302-4315, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>. dirección: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5086>.
- [51] V. Marín, *Evaluación De La Relación Entre La Evapotranspiración Potencial Teórica Y La Evaporación Registrada En Los Departamentos De Cundinamarca Y Valle Del Cauca*. 2010, págs. 76-99.
- [52] E. Arce, W. Sandoval, T. Toulkeridis y D. Carrera, «Caudales Ecológicos Para Cuencas Ecuatorianas Determinados Por El Método De La Pendiente De La Curva De Masas,» *Revista GEOESPACIAL*, vol. 14, n.º 2, págs. 36-49, 2017.
- [53] GAD Azogues, «Plan del Buen Vivir y Ordenamiento Territorial del Cantón Azogues,» pág. 634, 2015.
- [54] GAD Javier Loyola, «Plan de de Desarrollo y Ordenamiento territorial de la Parroquia Javier Loyola,» pág. 159, 2015.
- [55] C. CONSULTORA, *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial parroquial rural de Guapán del cantón Azogues*. GAD Parroquial de Guapán, 2015.
- [56] INEN, *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*, Primera. 1992, pág. 291.
- [57] EMAPAL-EP, *Ampliación y mejoramiento de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Azogues*. Azogues, 2007.
- [58] J. Fuentes, *Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio en el Parque Nacional del Pico de Tancítaro*. Instituto Nacional de Ecología, 2004.
- [59] O. Ortiz, «Evaluación hidrológica,» *HIDRORED*, vol. 2, págs. 2-10, 2004.
- [60] O. Viramontes, «Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua,» *TECNOCENCIA Chihuahua*, vol. 1, n.º 3, págs. 21-31, 2008.

- [61] E. Suárez, E. Arcos, C. Moreno, A. Encalada y M. Álvarez, «Influence of vegetation types and ground cover on soil water infiltration capacity in a high-altitude páramo ecosystem,» *Avances*, vol. 5, n.º 1, págs. 12-21, 2013.
- [62] A. Díaz y T. Mercado, «Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG,» *Ingeniería y desarrollo*, vol. 35, n.º 2, 2017.
- [63] C. Kunst, R. Ledesma, M. Basan, G. Angella, D. Prieto y J. Godoy, «Rolado de ‘Fachinales’ e infiltración de agua en el suelo en el Chaco occidental (Argentina),» *INTA*, vol. 32, n.º 3, págs. 105-126, 2003.
- [64] D. Córdova, D. Paredes y R. Alulema, «Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota,» *Investigación y Desarrollo*, vol. 2, n.º 8, págs. 105-126, 2017.
- [65] L. Méndez, *Estudio hidrológico e hidráulico en un tramo del río Santa Bárbara para la prevención de la socavación de las carreteras de Santa Bárbara de Santa Cruz, Costa Rica*. Universidad Nacional, 2022.
- [66] R. Pizarro, A. Abarza, C. Farías y C. Jordán, «Construcción de curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) en zonas semiaridas de Chile central,» en *Actas del XII Congreso Forestal Mundial*, 2003.
- [67] F. Saenz, *Estudio de inundación en el tramo del centro poblado Manchuria al centro poblado Sandial en el distrito Pítipo, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque, mediante el uso de software HEC-HMS e Iber*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2021.
- [68] V. Burgos, «MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE CUENCAS PIEDEMONTANAS Uso de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología Superficial,» ene. de 2005. DOI: 10.13140/RG.2.1.4549.7765.
- [69] O. of American States. Department of Regional Development, C. M. de Cooperación Amazónica Ecuatoriano-Colombiana, O. of American States. Executive Secretariat for Economic y S. Affairs, *Plan de ordenamiento y manejo de las cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo: diagnóstico regional* (Plan de ordenamiento y manejo de las cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo: diagnóstico regional p. 96). Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Departamento de Desarrollo Regional, 1987. dirección: <https://books.google.com.ec/books?id=0GpWAAAAMAAJ>.
- [70] B. Peñafiel Gonzales, *Proyecto Presa de Llaucay*. Azogues: EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AZOGUES.

- [71] G. d. I. Lanza Espino, J. L. Carbajal Pérez, S. A. Salinas Rodríguez y J. E. Barrios Ordóñez, «Medición del caudal ecológico del río Acaponeta, Nayarit, comparando distintos intervalos de tiempo,» *Investigaciones geográficas*, n.º 78, págs. 62-74, 2012.

Sección 7

Anexos

Coefficiente de compacidad y factor de forma

En las tablas 7.1 y 7.2 se pueden apreciar la clasificación que poseen las cuencas tomando como referencia el coeficiente de compacidad y el factor de forma respectivamente.

Tabla 7.1: Clasificación de acuerdo al coeficiente de compacidad [11].

Factor	Características
1 - 1.25	Forma más o menos circular a oval - redonda
1.25 - 1.50	Forma oval - alargada
>1.50	Forma oval - alargada a rectangular - alargada

Tabla 7.2: Clasificación de acuerdo al factor de forma [11].

Rango	Descripción
<1	Casi alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
>1	Más o menos achatada, alta susceptibilidad a las avenidas

Pendiente media

En la tabla 7.3 se puede observar la clasificación que poseen las cuencas considerando la pendiente que estas poseen.

Tabla 7.3: Clasificación de cuencas de acuerdo a la pendiente [11].

Pendiente Media (%)	Relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Medianamente accidentado
12-20	Accidentado
20-35	Fuertemente accidentado
35-50	Muy fuertemente accidentado
50-75	Escarpado
> 75	Muy escarpado

Metodología Dick & Peschke

En la tabla 7.4 se aprecia la relación de corrección de acuerdo a la información anotada por día.

Tabla 7.4: Relación de precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos [15].

Intervalos de observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Análisis multicriterio AHP

En la tabla 7.5 se puede observar la escala de preferencia para cada uno de los criterios. Así mismo, en la tabla 7.6 se puede apreciar los valores a emplear para el índice aleatorio de inconsistencia.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE
AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.5: Escala de preferencia [41].

Valoración	Concepto	Descripción
1	Misma importancia	Los criterios poseen igual importancia para el objetivo.
3	Mayor importancia	La actividad o el criterio secundan levemente sobre otro.
5	Importancia considerable	La actividad o el criterio secundan fuertemente sobre otro.
7	Importancia muy fuerte	Una actividad posee una gran importancia con respecto a la otra.
9	Importancia absoluta	El contexto que rodea una actividad o criterio es superior de manera absoluta.
2,4,6,8	Cantidades medias	Valores intermedios en escala adyacente.

Tabla 7.6: Índice aleatorio de inconsistencia [41].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

En las tablas 7.7 a 7.12 se puede apreciar los valores propios (*eigvalues*) obtenidos en las distintas matrices de elección.

Tabla 7.7: Ponderación de criterios.

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	Suma
C1	0.22	0.17	0.39	0.30	0.43	1.51
C2	0.65	0.51	0.39	0.39	0.31	2.24
C3	0.07	0.17	0.13	0.13	0.18	0.69
C4	0.03	0.06	0.04	0.04	0.02	0.19
C5	0.03	0.10	0.04	0.13	0.06	0.37

Tabla 7.8: Ponderación de las alternativas de acuerdo a C1.

Alternativas	Condoryacu	Llaucay	Suma
Condoryacu	0.833	0.833	1.67
Llaucay	0.167	0.167	0.33

Tabla 7.9: Ponderación de las alternativas de acuerdo a C2.

Alternativas	Condoryacu	Llaucay	Suma
Condoryacu	0.667	0.667	1.33
Llaucay	0.333	0.333	0.67

Tabla 7.10: Ponderación de las alternativas de acuerdo a C3.

Alternativas	Condoryacu	Llaucay	Suma
Condoryacu	0.75	0.75	1.50
Llaucay	0.25	0.25	0.50

Tabla 7.11: Ponderación de las alternativas de acuerdo a C4.

Alternativas	Condoryacu	Llaucay	Suma
Condoryacu	0.875	0.875	1.75
Llaucay	0.125	0.125	0.25

Tabla 7.12: Ponderación de las alternativas de acuerdo a C5.

Alternativas	Condoryacu	Llaucay	Suma
Condoryacu	0.25	0.25	0.50
Llaucay	0.75	0.75	1.50

Precipitación

Los datos de precipitación utilizados en el proyecto se aprecia en la tabla 7.13.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.13: Precipitación obtenida del pluviometro en Condoryacu.

Año / Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
2010	2.50	6.00	6.25	6.50	58.00	116.00	92.50	41.00	27.00	23.50	57.00	56.00	492.25
2011	64.75	126.50	61.75	168.50	134.00	86.75	132.50	59.75	99.75	62.25	141.50	118.00	1256.00
2012	157.75	97.75	101.09	108.46	55.88	66.29	80.52	81.28	26.16	128.78	174.75	38.86	1117.57
2013	50.29	83.57	97.79	25.91	129.29	121.92	133.86	53.59	41.15	119.89	73.15	55.37	985.77
2014	83.82	56.90	109.47	93.98	133.35	76.45	92.96	53.59	31.50	121.67	55.63	84.33	993.65
2015	106.17	45.72	143.26	101.60	65.28	157.99	127.76	66.55	52.58	65.79	52.32	39.12	1024.13
2016	83.57	97.79	25.91	129.29	121.92	66.29	143.76	43.69	87.38	31.24	48.51	64.77	944.12
2017	61.98	85.60	65.12	18.14	124.46	72.14	78.60	110.40	52.60	46.80	74.80	58.20	848.83
2018	68.14	89.26	110.48	94.14	125.20	78.60	80.15	52.60	46.80	86.12	62.40	55.60	949.49
2019	12.00	0.72	0.00	0.00	0.00	5.80	12.20	112.20	68.00	157.80	78.60	134.00	581.32
2020	83.60	47.80	50.20	118.40	118.60	110.40	133.40	72.20	80.80	43.80	116.00	123.00	1098.20
Promedio	70.42	67.05	70.12	78.63	96.91	87.15	100.75	67.90	55.79	80.69	84.97	75.20	
Máxima	157.75	126.50	143.26	168.50	134.00	157.99	143.76	112.20	99.75	157.80	174.75	134.00	
Mínima	2.50	0.72	0.00	0.00	0.00	5.80	12.20	41.00	26.16	23.50	48.51	38.86	

Gráfica de modelos de distribución

En las figuras 7.1 a 7.10 se muestra la gráfica de los modelos de distribución en cada mes.

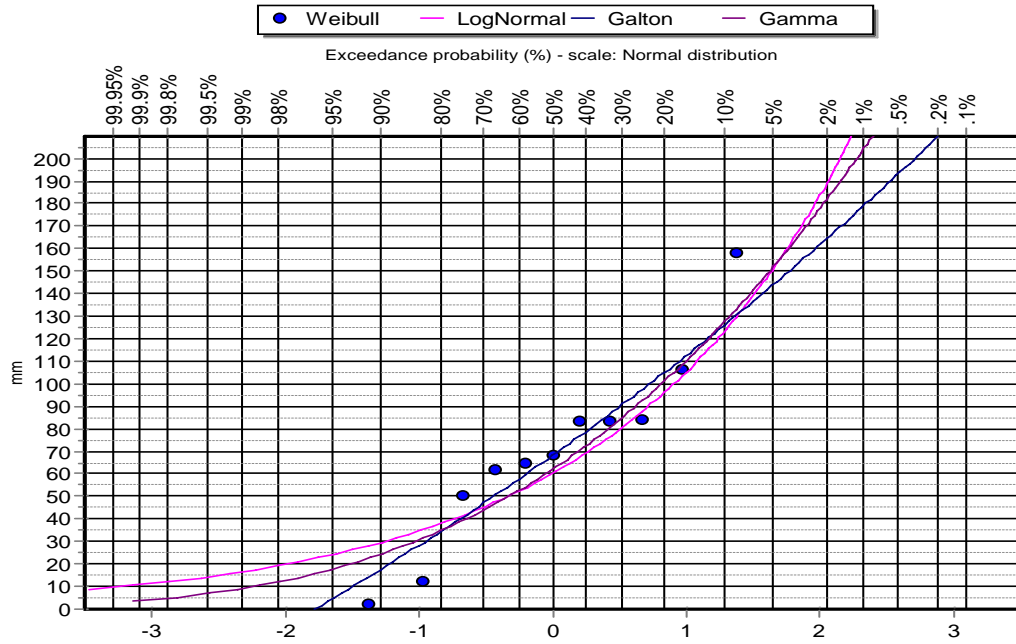


Figura 7.1: Modelos de distribución para el mes de enero.

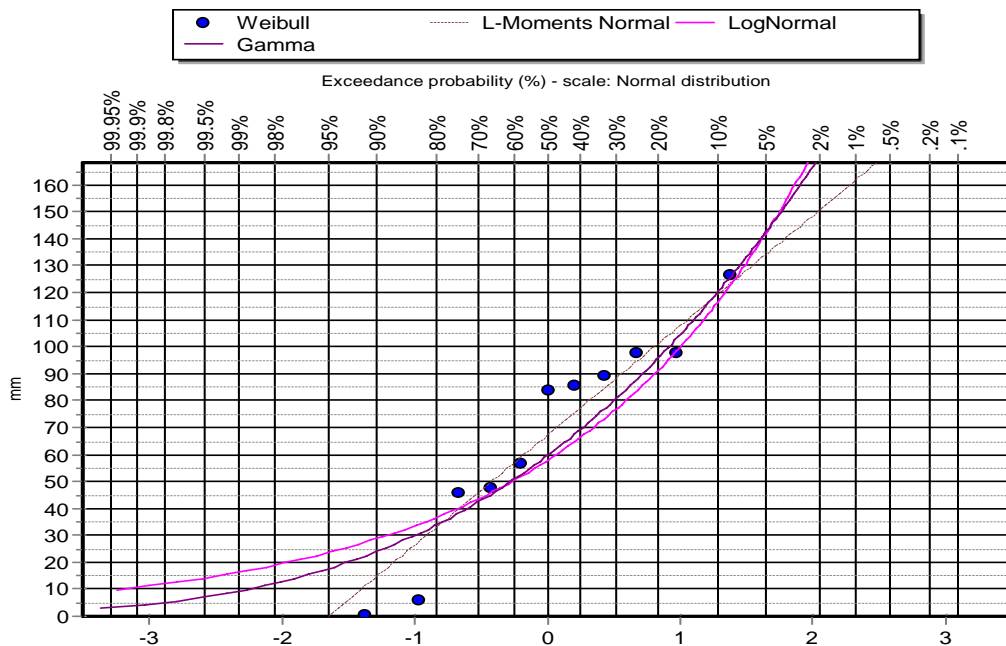


Figura 7.2: Modelos de distribución para el mes de febrero.

Prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov

En las siguientes tablas y figuras se encuentra el análisis de Smirnov-Kolmogorov realizado en el software Hydrognomon para determinar el ajuste de las distintas distribuciones estadísticas.

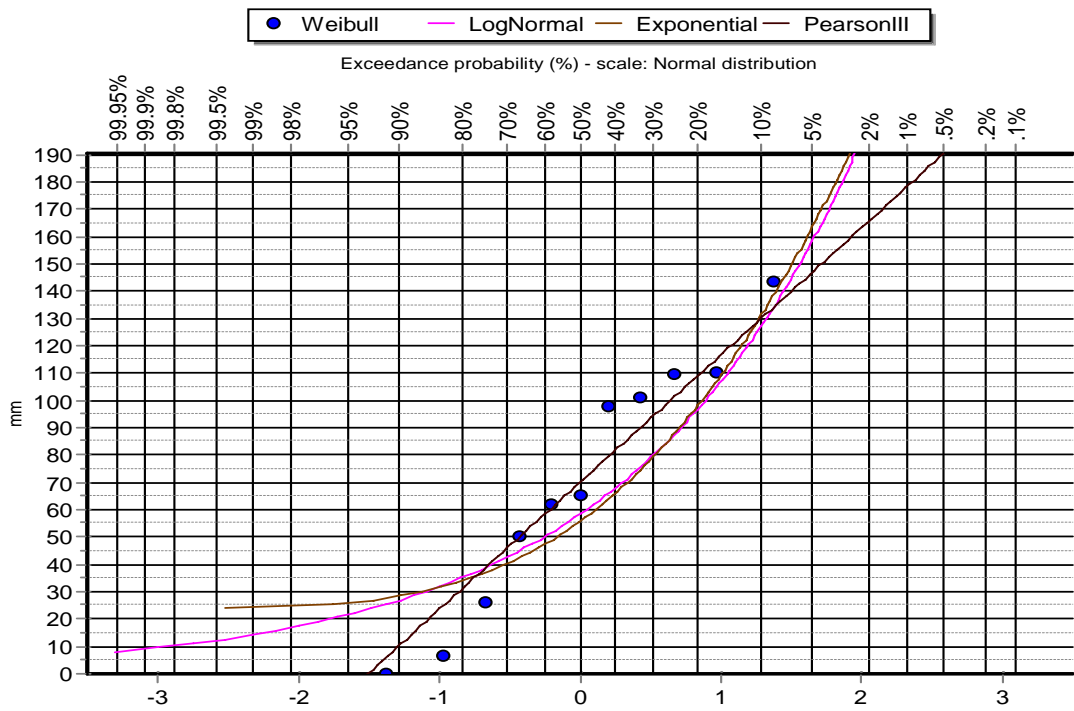


Figura 7.3: Modelos de distribución para el mes de marzo.

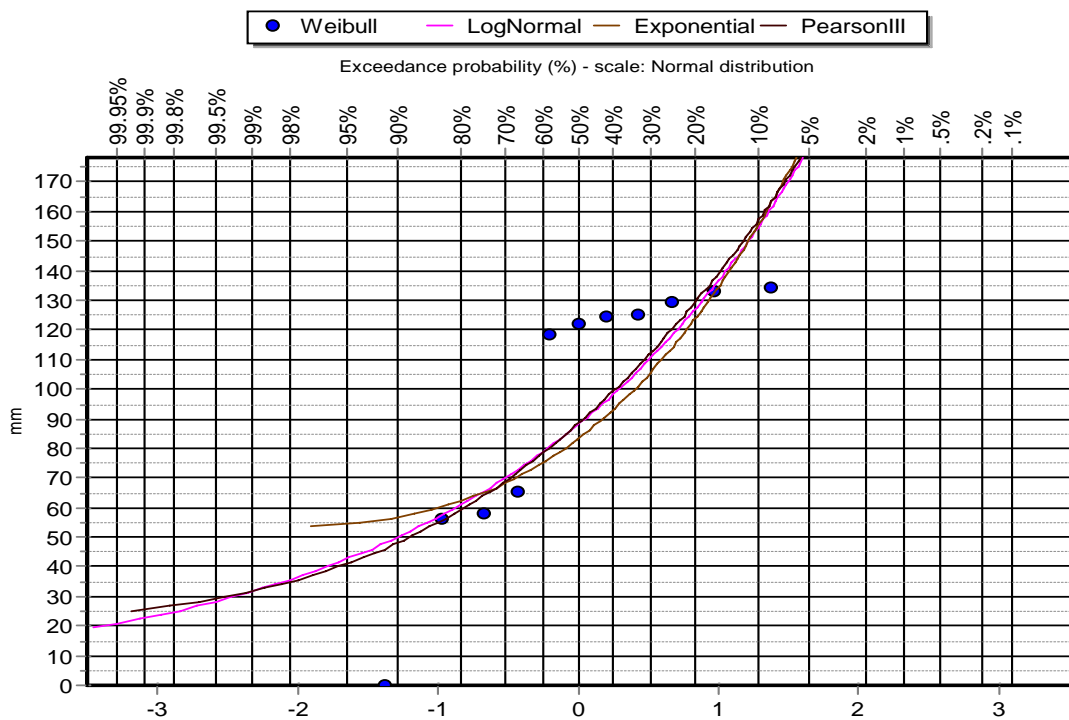


Figura 7.4: Modelos de distribución para el mes de mayo.

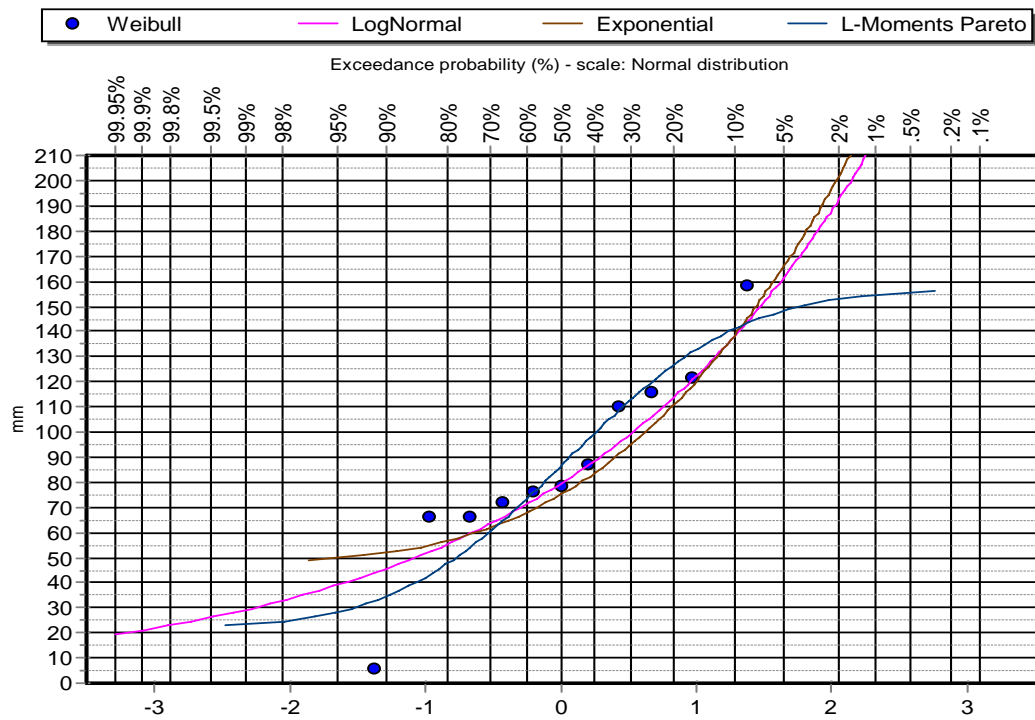


Figura 7.5: Modelos de distribución para el mes de junio.

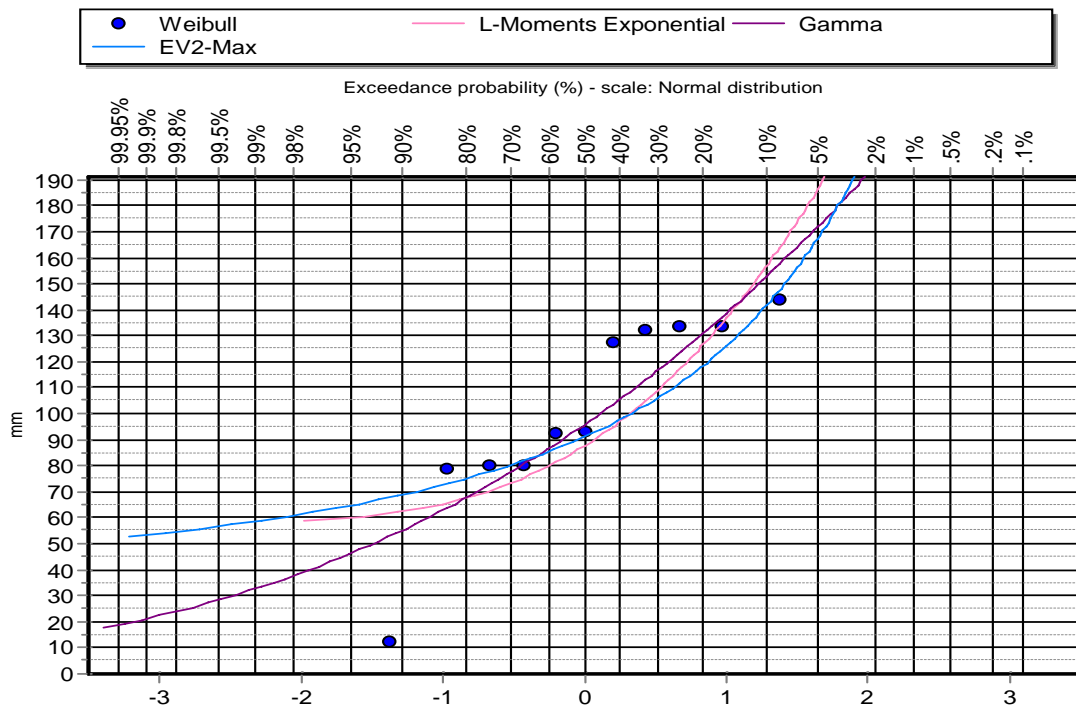


Figura 7.6: Modelos de distribución para el mes de julio.

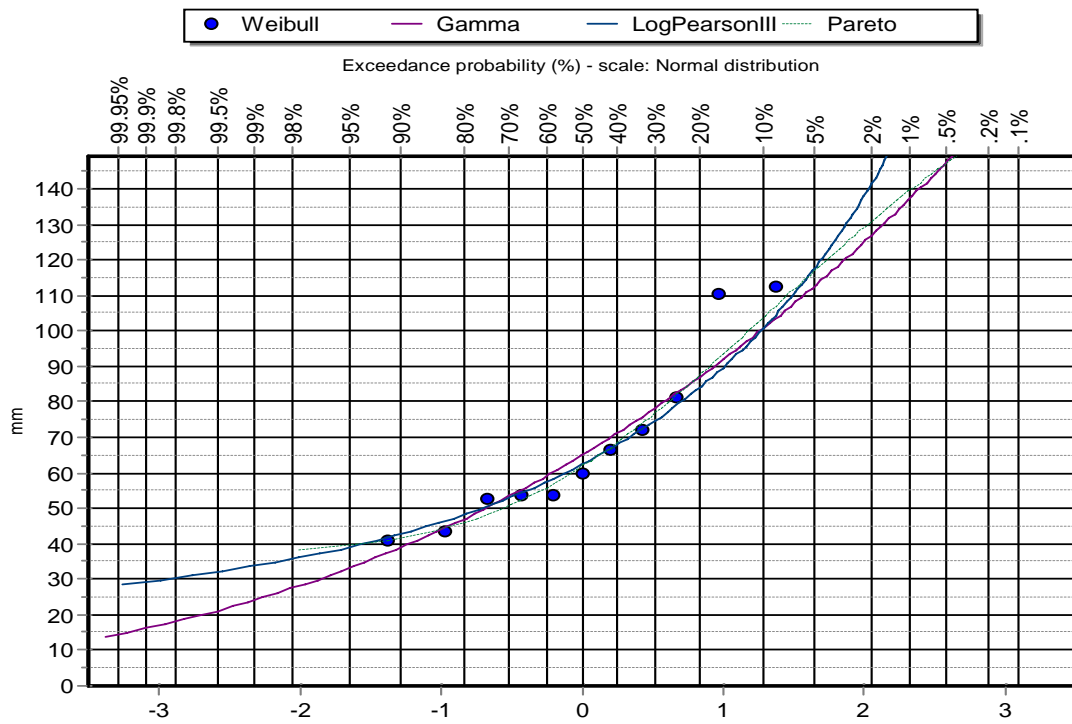


Figura 7.7: Modelos de distribución para el mes de agosto.

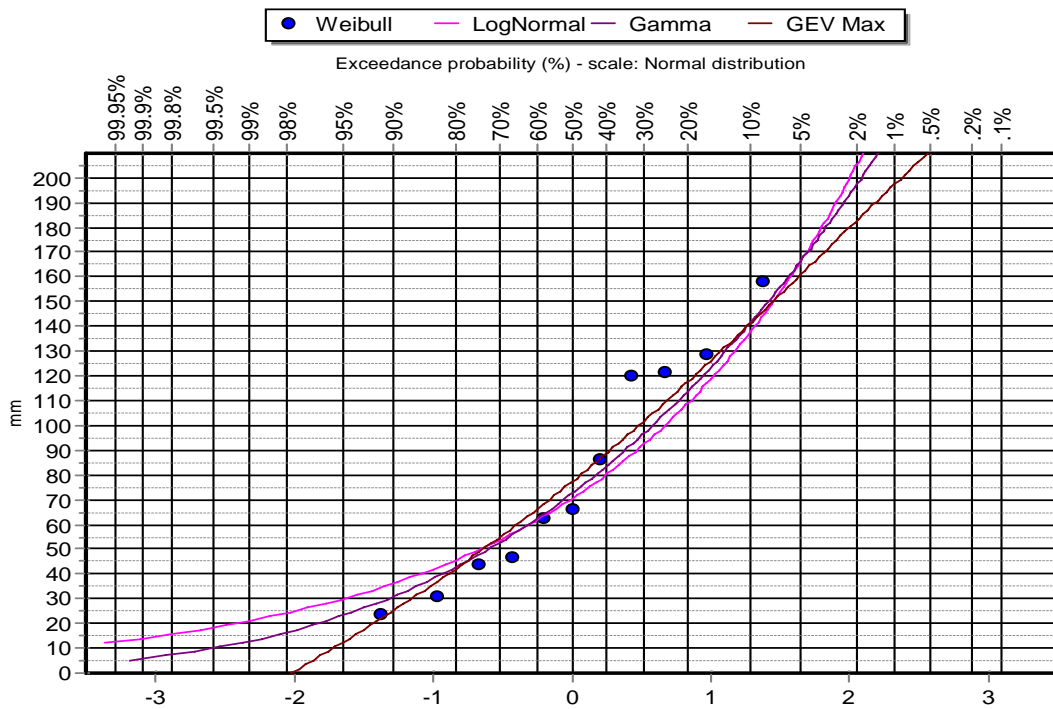


Figura 7.8: Modelos de distribución para el mes de octubre.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE
AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

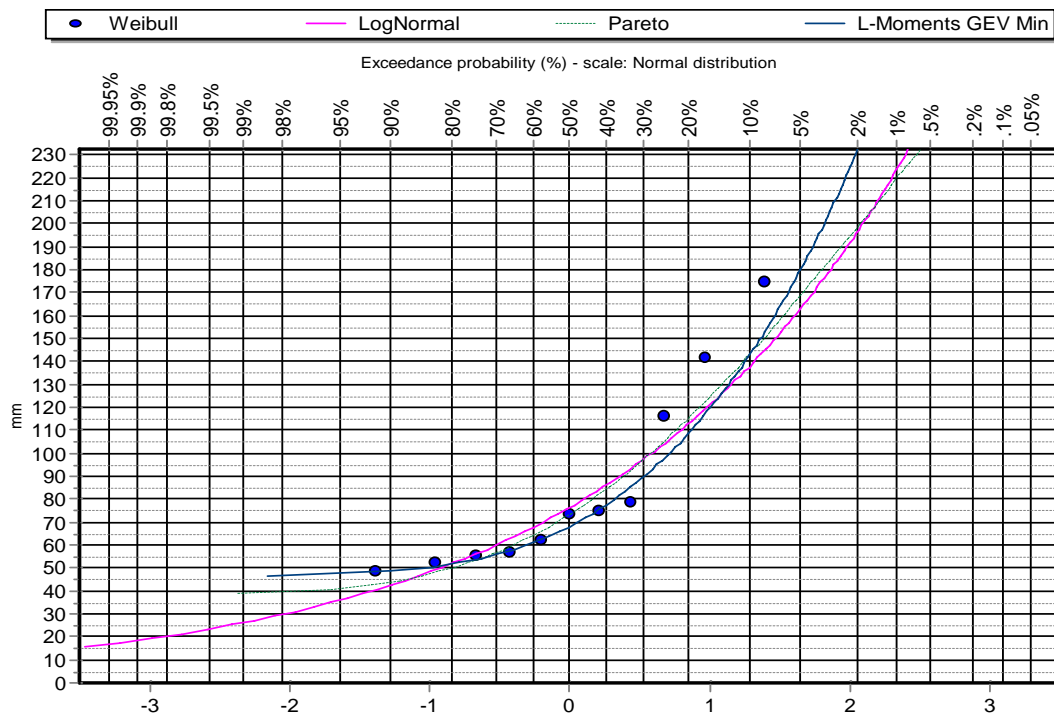


Figura 7.9: Modelos de distribución para el mes de noviembre.

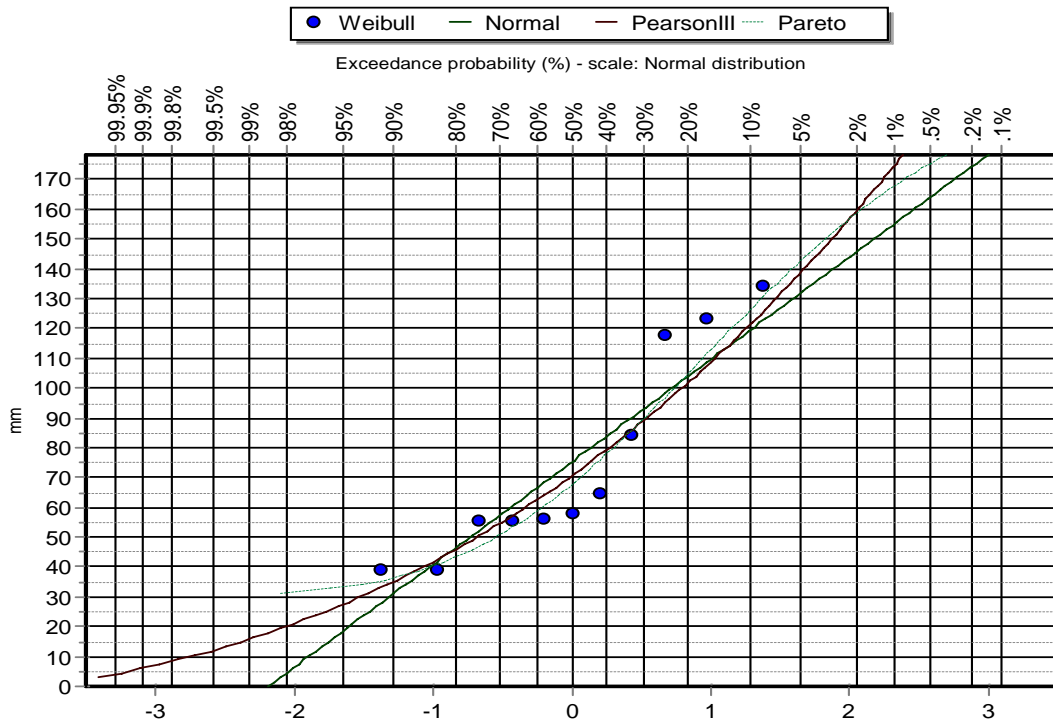


Figura 7.10: Modelos de distribución para el mes de diciembre.

Tabla 7.14: Distribuciones probabilísticas para el mes de enero.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Galton	✓	✓	✓	99.14	0.1078
Pearson III	✓	✓	✓	99.12	0.1081
GEV-Max	✓	✓	✓	98.68	0.1127
GEV-Min	✓	✓	✓	98.56	0.1138
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	97.76	0.1198
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	97.16	0.1233
Normal	✓	✓	✓	96.67	0.1259
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	96.66	0.1259
Pareto	✓	✓	✓	93.61	0.1381
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	90.42	0.1476
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	89.29	0.1505
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	89.05	0.1511
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	87.62	0.1546
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	87.51	0.1549
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	87.41	0.1551
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	87.17	0.1557
Gamma	✓	✓	✓	82.80	0.1653
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	74.81	0.1808
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	74.22	0.1819
LogNormal	✓	✓	✓	71.97	0.1860
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	71.46	0.1869
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	67.27	0.1945
EV2-Max	✓	✓	✓	61.76	0.2043
Exponential	✓	✓	✓	54.38	0.2178
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	49.06	0.2278
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	25.50	0.2823
Log Pearson III	✓	X	X	4.77	0.3885

Tabla 7.15: Distribuciones probabilísticas para el mes de febrero.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	99.46	0.1030
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	99.43	0.1035
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	98.93	0.1102
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	98.16	0.1170
GEV-Max	✓	✓	✓	96.34	0.1275
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	95.71	0.1303
GEV-Min	✓	✓	✓	94.75	0.1341
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	94.19	0.1361
Pareto	✓	✓	✓	91.66	0.1441
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	89.23	0.1507
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	86.42	0.1574
Normal	✓	✓	✓	84.29	0.1621
Pearson III	✓	✓	✓	71.68	0.1865
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	65.56	0.1975
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	64.81	0.1989
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	58.11	0.2109
Gamma	✓	✓	✓	53.30	0.2198
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	53.15	0.2200
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	41.45	0.2432
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	41.31	0.2435
LogNormal	✓	✓	✓	38.04	0.2506
Exponential	✓	✓	✓	34.86	0.2579
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	33.36	0.2614
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	17.69	0.3085
EV2-Max	✓	✓	✓	15.80	0.3161
Log Pearson III	✓	X	X	2.63	0.4202

Tabla 7.16: Distribuciones probabilísticas para el mes de marzo.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto	✓	✓	✓	99.84	0.0929
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	99.37	0.1045
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	99.10	0.1082
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	99.01	0.1094
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	99.00	0.1095
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	98.70	0.1126
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	98.27	0.1162
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	97.41	0.1219
GEV-Max	✓	✓	✓	96.54	0.1265
GEV-Min	✓	✓	✓	96.17	0.1283
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	95.69	0.1304
Normal	✓	✓	✓	92.89	0.1404
Pearson III	✓	✓	✓	92.89	0.1404
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	80.80	0.1693
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	79.49	0.1719
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	78.16	0.1745
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	71.94	0.1861
Gamma	✓	✓	✓	70.21	0.1892
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	67.79	0.1936
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	64.82	0.1989
Exponential	✓	✓	✓	56.65	0.2136
Log Pearson III	✓	✓	✓	55.64	0.2154
LogNormal	✓	✓	✓	53.34	0.2197
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	51.85	0.2225
EV2-Max	X	X	X	0.00	0.9167
EV2-Max (L-Moments)	X	X	X	0.00	0.9167

Tabla 7.17: Distribuciones probabilísticas para el mes de abril.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	93.49	0.1385
Pareto	✓	✓	✓	92.96	0.1402
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	86.88	0.1563
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	85.22	0.1601
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	83.47	0.1639
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	83.04	0.1647
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	83.04	0.1648
GEV-Min	✓	✓	✓	78.56	0.1737
GEV-Max	✓	✓	✓	77.18	0.1764
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	76.75	0.1772
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	71.26	0.1873
Normal	✓	✓	✓	69.55	0.1904
Pearson III	✓	✓	✓	63.65	0.2010
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	38.50	0.2496
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	35.61	0.2561
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	34.28	0.2592
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	32.58	0.2633
Gamma	✓	✓	✓	28.93	0.2727
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	24.11	0.2865
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	22.32	0.2921
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	19.98	0.3000
Exponential	✓	✓	✓	19.15	0.3030
Log Pearson III	✓	✓	✓	18.76	0.3044
LogNormal	✓	✓	✓	17.61	0.3088
EV2-Max	X	X	X	0.00	0.9167
EV2-Max (L-Moments)	X	X	X	0.00	0.9167

Tabla 7.18: Distribuciones probabilísticas para el mes de mayo.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto	✓	✓	✓	99.05	0.10889
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	97.00	0.12419
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	89.61	0.14971
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	75.75	0.17905
GEV-Max	✓	✓	✓	62.46	0.20308
GEV-Min	✓	✓	✓	47.18	0.23149
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	46.97	0.23191
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	46.07	0.23369
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	40.05	0.24616
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	36.01	0.25517
Normal	✓	✓	✓	30.13	0.26954
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	26.87	0.27837
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	25.19	0.28323
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	23.52	0.28829
Log Pearson III	✓	✓	✓	19.47	0.30182
Gamma	✓	✓	✓	17.12	0.31072
Pearson III	✓	✓	✓	14.42	0.32219
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	14.23	0.32308
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	13.99	0.32416
LogNormal	✓	✓	✓	11.84	0.33491
Exponential (L-Moments)	✓	✓	X	9.40	0.34926
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	X	8.83	0.35306
Exponential	✓	✓	X	8.29	0.35686
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	X	7.50	0.36276
EV2-Max	X	X	X	0.00	0.91667
EV2-Max (L-Moments)	X	X	X	0.00	0.91667

Tabla 7.19: Distribuciones probabilísticas para el mes de junio.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	97.74	0.1199
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	97.74	0.1199
GEV-Min	✓	✓	✓	97.28	0.1227
GEV-Max	✓	✓	✓	96.12	0.1285
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	95.51	0.1311
Normal	✓	✓	✓	95.43	0.1315
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	92.95	0.1403
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	92.75	0.1409
Pearson III	✓	✓	✓	92.36	0.1421
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	86.43	0.1574
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	86.30	0.1577
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	86.23	0.1578
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	85.68	0.1591
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	85.08	0.1604
Pareto	✓	✓	✓	83.88	0.1630
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	83.52	0.1638
Gamma	✓	✓	✓	81.03	0.1689
LogNormal	✓	✓	✓	80.03	0.1708
EV2-Max	✓	✓	✓	79.89	0.1711
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	78.57	0.1737
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	66.51	0.1958
Exponential	✓	✓	✓	59.46	0.2085
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	58.05	0.2110
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	50.44	0.2252
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	40.82	0.2445
Log Pearson III	X	X	X	13.59	0.3261

Tabla 7.20: Distribuciones probabilísticas para el mes de julio.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	94.37	0.1355
GEV-Max	✓	✓	✓	90.51	0.1474
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	88.76	0.1519
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	86.85	0.1564
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	85.17	0.1602
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	83.92	0.1629
GEV-Min	✓	✓	✓	83.72	0.1633
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	83.11	0.1646
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	82.03	0.1668
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	79.43	0.1720
Normal	✓	✓	✓	78.61	0.1736
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	76.84	0.1770
Pareto	✓	✓	✓	76.24	0.1781
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	76.11	0.1784
Gamma	✓	✓	✓	66.63	0.1956
Pearson III	✓	✓	✓	61.21	0.2053
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	59.79	0.2079
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	57.90	0.2113
LogNormal	✓	✓	✓	57.54	0.2120
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	52.70	0.2209
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	48.21	0.2295
Exponential	✓	✓	✓	46.24	0.2334
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	40.91	0.2443
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	38.52	0.2495
EV2-Max	✓	✓	✓	31.42	0.2662
Log Pearson III	✓	X	X	1.61	0.4448
Pareto	X	X	X	0.53	0.4956

Tabla 7.21: Distribuciones probabilísticas para el mes de agosto.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto	✓	✓	✓	99.77	0.0956
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	99.72	0.0972
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	99.68	0.0982
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	99.67	0.0984
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	99.66	0.0986
Log Pearson III	✓	✓	✓	99.59	0.1005
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	99.49	0.1024
GEV-Min	✓	✓	✓	99.41	0.1038
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	99.35	0.1049
Pearson III	✓	✓	✓	99.25	0.1063
LogNormal	✓	✓	✓	99.05	0.1089
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	98.98	0.1097
Galton	✓	✓	✓	98.94	0.1102
Gamma	✓	✓	✓	98.84	0.1112
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	98.78	0.1118
GEV-Max	✓	✓	✓	98.76	0.1120
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	97.09	0.1237
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	96.86	0.1250
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	96.67	0.1259
Normal	✓	✓	✓	93.88	0.1372
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	93.86	0.1373
EV2-Max	✓	✓	✓	89.08	0.1511
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	87.19	0.1556
Exponential	✓	✓	✓	87.06	0.1559
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	86.99	0.1561
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	70.48	0.1887
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	67.97	0.1932

Tabla 7.22: Distribuciones probabilísticas para el mes de septiembre.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	100.00	0.0611
Pareto	✓	✓	✓	100.00	0.0732
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	99.99	0.0784
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	99.92	0.0882
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	99.89	0.0897
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	99.75	0.0962
Log Pearson III	✓	✓	✓	99.74	0.0963
Gamma	✓	✓	✓	99.73	0.0966
GEV-Min	✓	✓	✓	99.72	0.0970
GEV-Max	✓	✓	✓	99.71	0.0973
Pearson III	✓	✓	✓	99.57	0.1008
Galton	✓	✓	✓	99.52	0.1018
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	99.47	0.1029
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	99.46	0.1031
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	99.27	0.1061
LogNormal	✓	✓	✓	98.09	0.1176
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	95.39	0.1316
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	94.98	0.1332
Normal	✓	✓	✓	94.81	0.1339
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	94.10	0.1365
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	84.07	0.1626
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	84.03	0.1627
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	82.94	0.1650
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	64.29	0.1998
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	61.99	0.2039
Exponential	✓	✓	✓	54.75	0.2171
EV2-Max	✓	✓	✓	47.67	0.2305

Tabla 7.23: Distribuciones probabilísticas para el mes de octubre.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	99.26	0.1062
Pareto	✓	✓	✓	98.99	0.1096
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	95.76	0.1301
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	94.90	0.1336
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	94.09	0.1365
GEV-Min	✓	✓	✓	93.32	0.1391
Normal	✓	✓	✓	92.64	0.1412
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	92.54	0.1415
GEV-Max	✓	✓	✓	91.72	0.1440
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	91.13	0.1456
Pearson III	✓	✓	✓	90.83	0.1465
Galton	✓	✓	✓	90.55	0.1473
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	89.62	0.1497
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	89.49	0.1500
Log Pearson III	✓	✓	✓	88.97	0.1513
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	87.28	0.1554
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	86.58	0.1570
Gamma	✓	✓	✓	85.37	0.1598
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	82.80	0.1653
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	81.74	0.1674
Exponential	✓	✓	✓	75.65	0.1792
LogNormal	✓	✓	✓	75.45	0.1796
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	73.50	0.1832
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	68.53	0.1922
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	68.33	0.1926
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	62.18	0.2036
EV2-Max	✓	✓	✓	34.25	0.2593

Tabla 7.24: Distribuciones probabilísticas para el mes de noviembre.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	99.98	0.0797
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	99.90	0.0895
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	99.87	0.0911
Log Pearson III	✓	✓	✓	99.76	0.0957
Exponential	✓	✓	✓	99.76	0.0959
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	99.45	0.1031
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	99.18	0.1073
Pareto	✓	✓	✓	98.35	0.1156
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	97.40	0.1220
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	96.17	0.1283
GEV-Min	✓	✓	✓	95.57	0.1309
Pearson III	✓	✓	✓	93.69	0.1379
LogNormal	✓	✓	✓	92.27	0.1424
Galton	✓	✓	✓	89.13	0.1510
GEV-Max	✓	✓	✓	87.87	0.1540
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	84.25	0.1622
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	84.16	0.1624
Gamma	✓	✓	✓	83.18	0.1645
EV2-Max	✓	✓	✓	76.79	0.1771
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	70.31	0.1890
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	66.05	0.1967
Normal	✓	✓	✓	48.98	0.2280
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	47.54	0.2308
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	34.57	0.2585
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	33.57	0.2609
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	20.70	0.2975
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	20.66	0.2977

Tabla 7.25: Distribuciones probabilísticas para el mes de diciembre.

Kolmogorov-Smirnov	a=1 %	a=5 %	a=10 %	Posee (%)	D_{max}
Pareto	✓	✓	✓	98.21	0.1167
GEV-Min (L-Moments)	✓	✓	✓	96.43	0.1271
Pareto (L-Moments)	✓	✓	✓	96.41	0.1272
Exponential (L-Moments)	✓	✓	✓	94.18	0.1362
Log Pearson III	✓	✓	✓	94.06	0.1366
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	92.82	0.1407
GEV-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	92.68	0.1411
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	91.84	0.1436
Exponential	✓	✓	✓	91.70	0.1440
LogNormal	✓	✓	✓	91.48	0.1447
GEV-Min	✓	✓	✓	91.29	0.1452
Gamma	✓	✓	✓	90.04	0.1486
EV2-Max (L-Moments)	✓	✓	✓	88.82	0.1517
EV1-Max (Gumbel)	✓	✓	✓	88.29	0.1530
Pearson III	✓	✓	✓	87.47	0.1550
GEV-Max (kappa specified)	✓	✓	✓	86.46	0.1573
GEV-Max	✓	✓	✓	86.29	0.1577
Galton	✓	✓	✓	85.43	0.1596
EV3-Min (Weibull)	✓	✓	✓	80.81	0.1693
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	✓	✓	✓	80.37	0.1702
EV2-Max	✓	✓	✓	71.89	0.1862
Normal	✓	✓	✓	62.75	0.2026
Normal (L-Moments)	✓	✓	✓	62.65	0.2027
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	✓	✓	✓	48.49	0.2289
GEV-Min (kappa specified)	✓	✓	✓	48.34	0.2292
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	✓	✓	✓	32.81	0.2628
EV1-Min (Gumbel)	✓	✓	✓	31.18	0.2669

Precipitación máxima estimada

En las tablas 7.26 a 7.35 se encuentran los valores de precipitación máxima estimada.

Tabla 7.26: Precipitación máxima estimada para el mes de enero.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	68.205	77.072
5	105.198	118.874
10	125.874	142.238
25	148.998	168.368
50	164.552	185.944
100	178.972	202.238
200	192.534	217.563
500	209.452	236.681
1000	221.644	250.458

Tabla 7.27: Precipitación máxima estimada para el mes de febrero.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	67.0549	75.772
5	101.331	114.504
10	119.248	134.750
25	138.355	156.341
50	150.697	170.288
100	161.799	182.833
200	171.96	194.315
500	184.273	208.228
1000	192.91	217.988

Tabla 7.28: Precipitación máxima estimada para el mes de marzo.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	70.12	79.236
5	109.32	123.532
10	129.811	146.686
25	151.662	171.378
50	165.777	187.328
100	178.474	201.676
200	190.094	214.806
500	204.176	230.719
1000	214.054	241.881

Tabla 7.29: Precipitación máxima estimada para el mes de mayo.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	87.9903	99.429
5	127.359	143.916
10	154.516	174.603
25	189.886	214.571
50	216.931	245.132
100	244.532	276.321
200	272.861	308.333
500	311.624	352.135
1000	342.056	386.523

Tabla 7.30: Precipitación máxima estimada para el mes de junio.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	79.4193	89.744
5	114.143	128.982
10	137.972	155.908
25	168.887	190.842
50	192.451	217.470
100	216.442	244.579
200	241.011	272.342
500	274.551	310.243
1000	300.826	339.933

Tabla 7.31: Precipitación máxima estimada para el mes de julio.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	87.6041	98.992633
5	126.848	143.33824
10	156.535	176.88455
25	195.779	221.23027
50	225.466	254.77658
100	255.153	288.32289
200	284.84	321.8692
500	324.084	366.21492
1000	353.771	399.76123

Tabla 7.32: Precipitación máxima estimada para el mes de agosto.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	61.8432	69.883
5	87.7311	99.136
10	103.591	117.058
25	120.604	136.283
50	131.027	148.061
100	139.727	157.892
200	146.987	166.095
500	154.776	174.897
1000	159.547	180.288

Tabla 7.33: Precipitación máxima estimada para el mes de octubre.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	77.3108	87.361
5	117.908	133.236
10	140.963	159.288
25	166.356	187.982
50	182.827	206.595
100	197.421	223.086
200	210.408	237.761
500	225.448	254.756
1000	235.42	266.025

Tabla 7.34: Precipitación máxima estimada para el mes de noviembre.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	68.1569	77.017
5	108.26	122.334
10	142.782	161.344
25	192.295	217.293
50	232.106	262.280
100	273.628	309.200
200	316.657	357.822
500	375.597	424.425
1000	421.589	476.396

Tabla 7.35: Precipitación máxima estimada para el mes de diciembre.

Periodo de retorno	Precipitación	Precipitación corregida
<i>años</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
2	67.7349	76.540
5	105.036	118.691
10	126.108	142.502
25	146.991	166.100
50	158.788	179.430
100	167.978	189.815
200	175.136	197.904
500	182.23	205.920
1000	186.237	210.448

Construcción de curvas IDF

En las siguientes figuras se aprecia las curvas IDF de cada mes; los valores de precipitación empleados en la construcción de estas curvas se encuentran en las tablas contiguas.

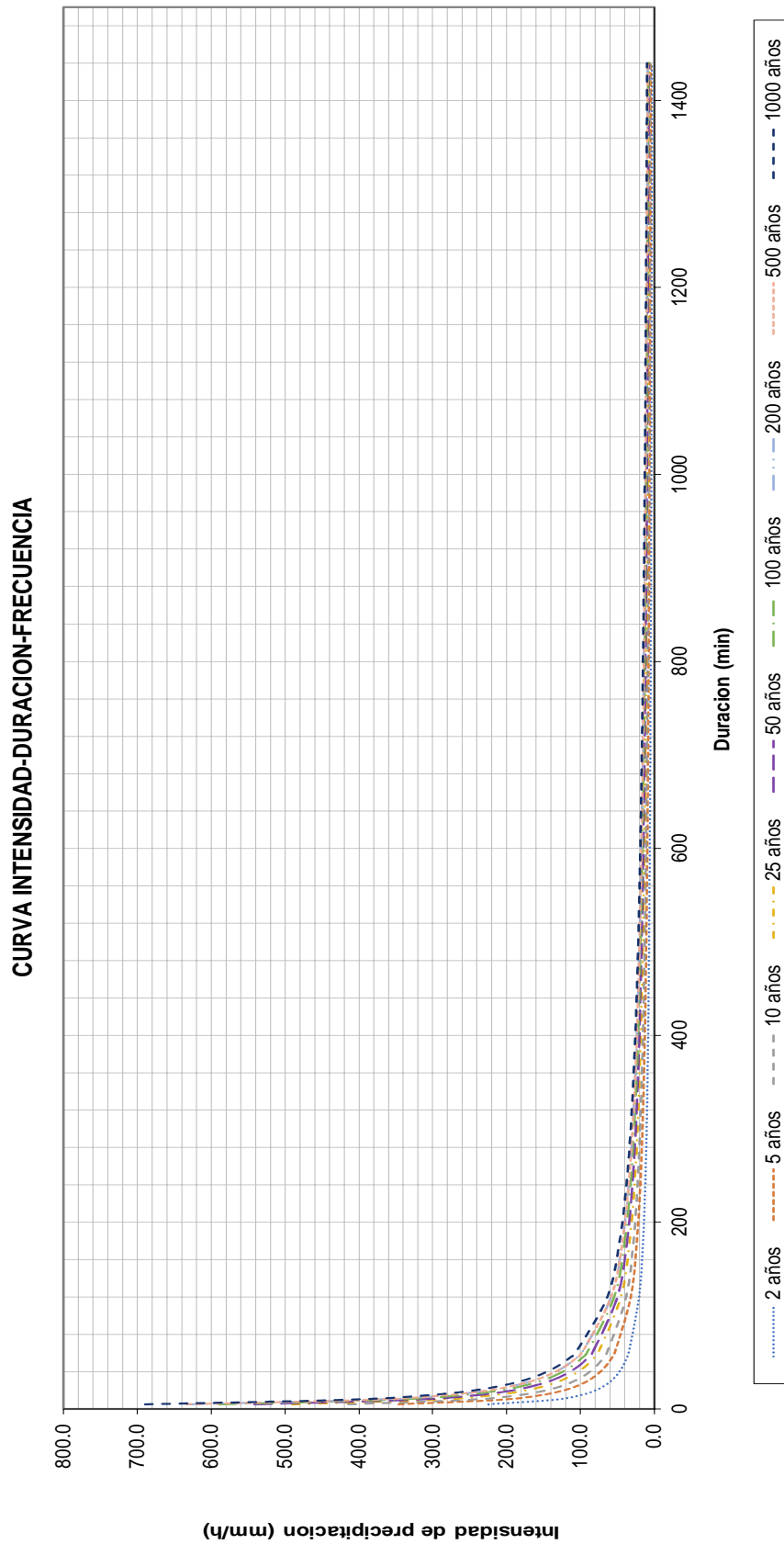


Figura 7.11: Curvas IDF para el mes de enero.

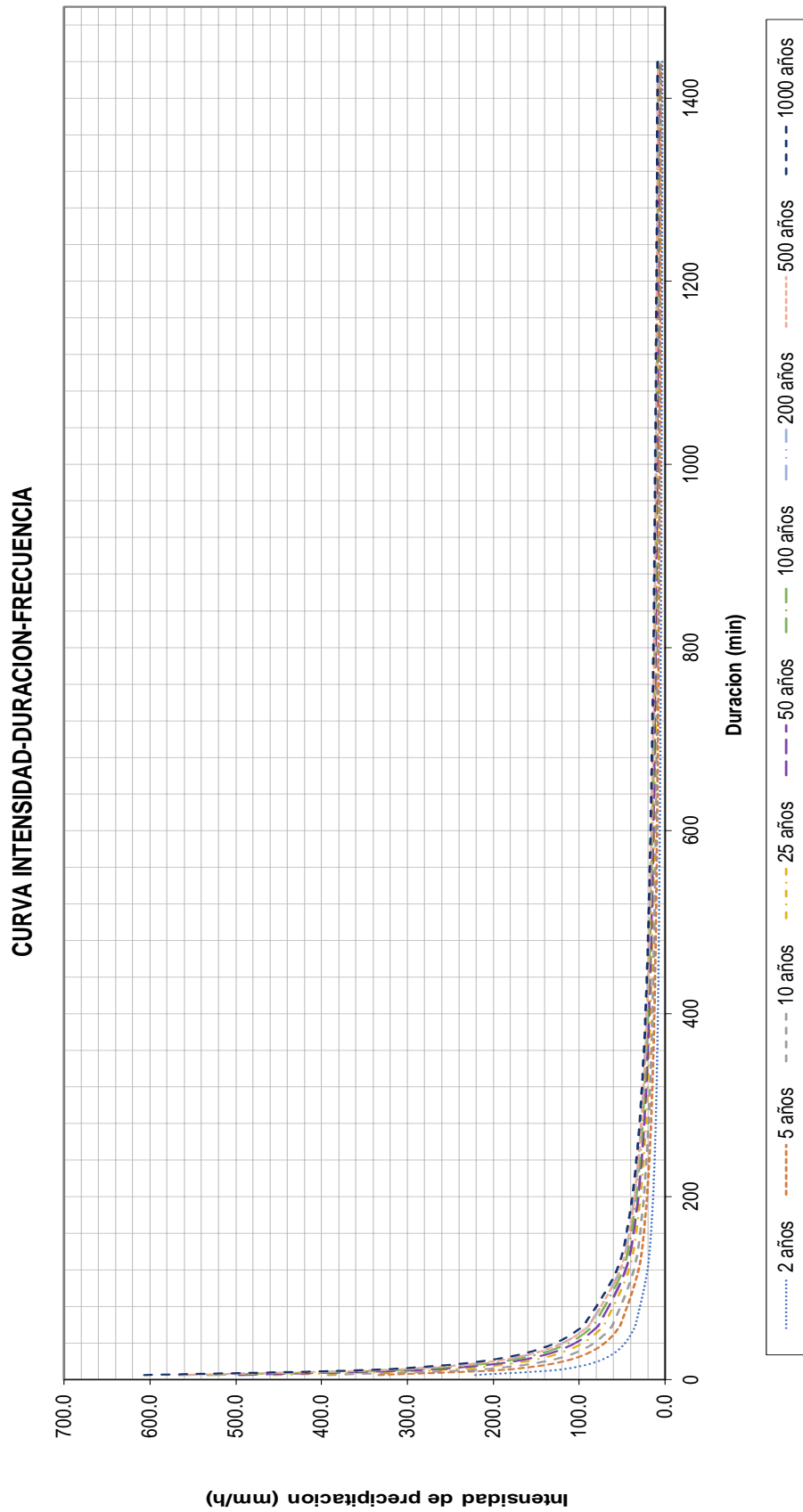


Figura 7.12: Curvas IDF para el mes de febrero.

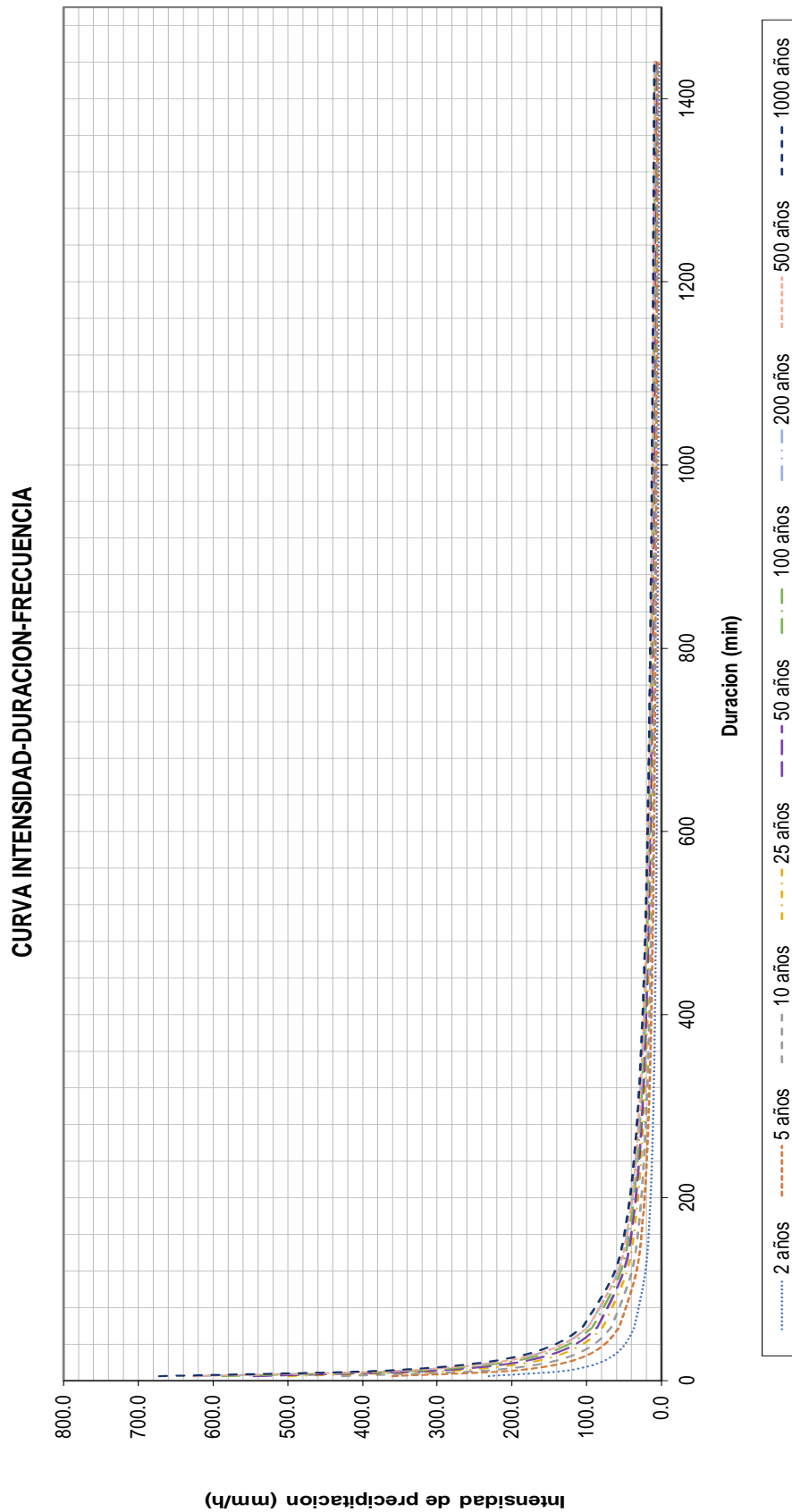


Figura 7.13: Curvas IDF para el mes de marzo.

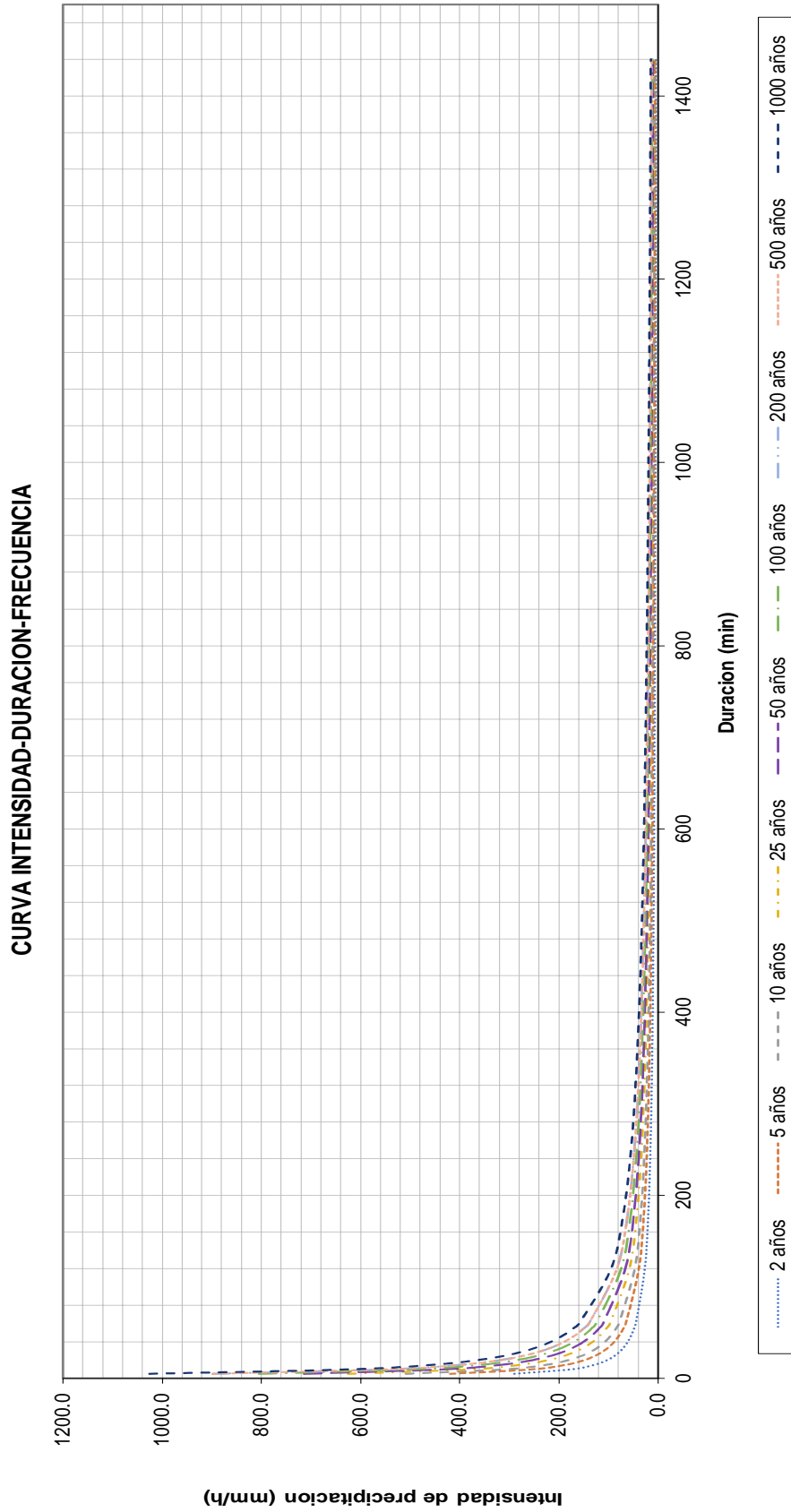


Figura 7.14: Curvas IDF para el mes de mayo.

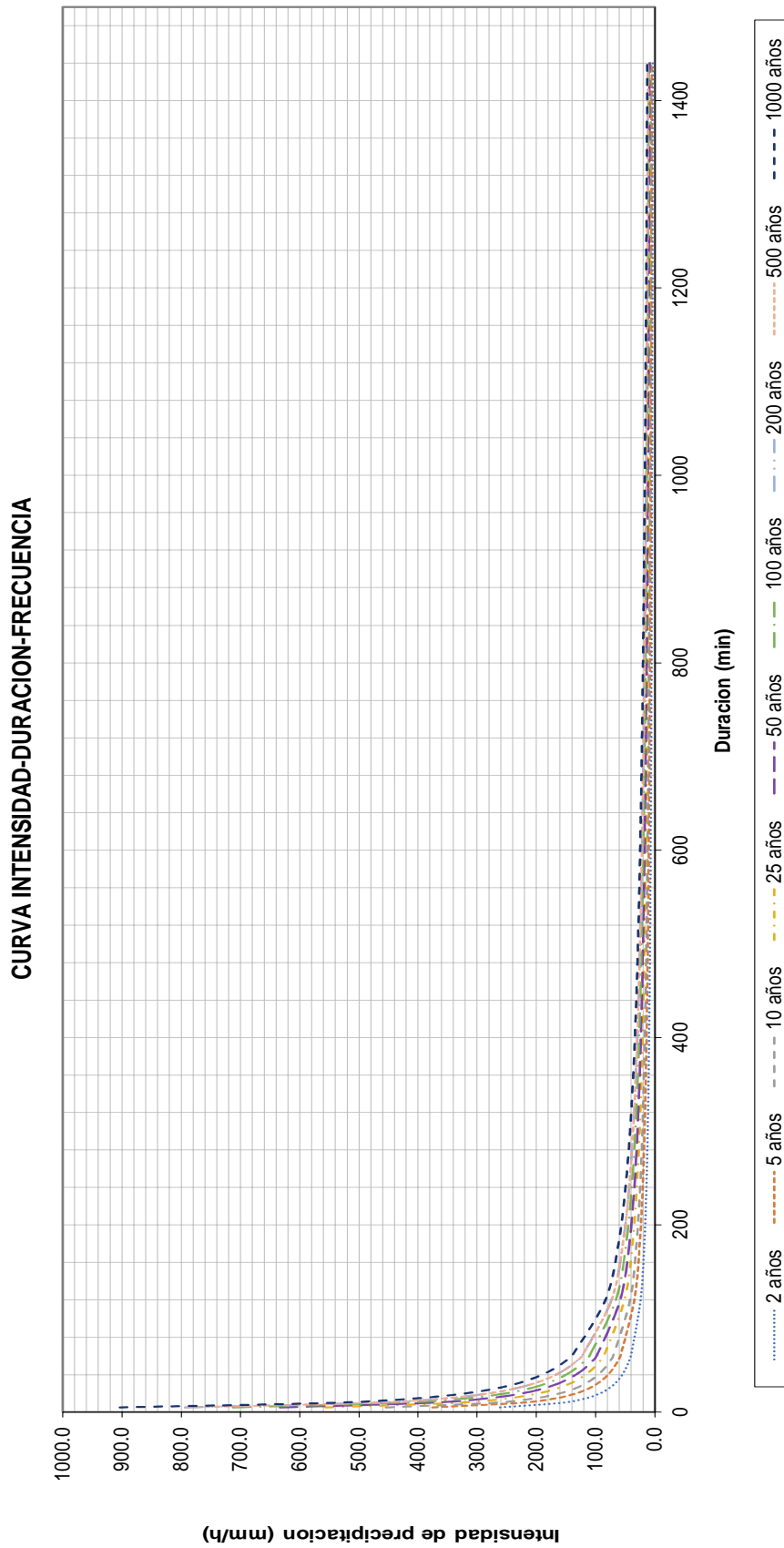


Figura 7.15: Curvas IDF para el mes de junio.

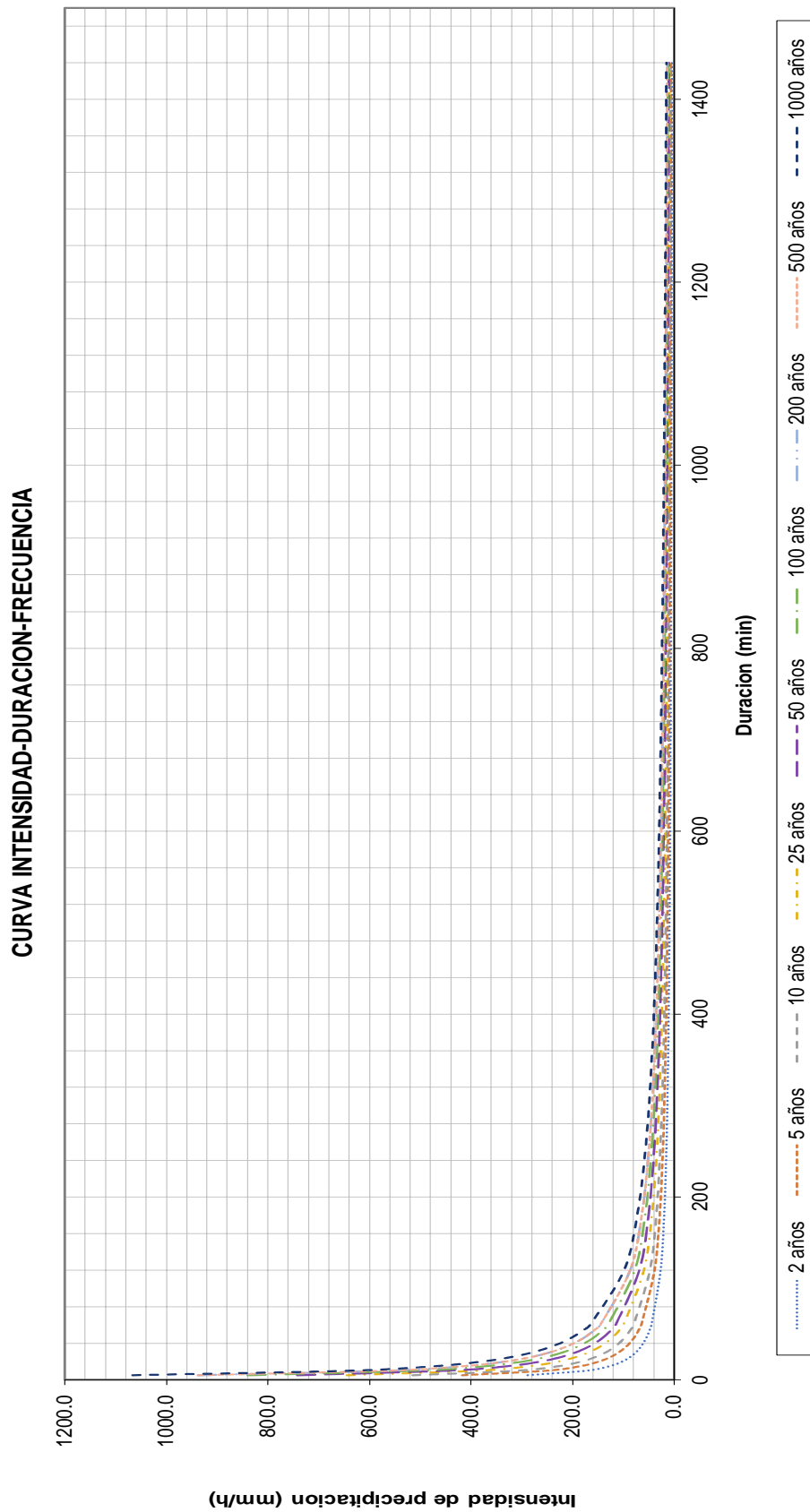


Figura 7.16: Curvas IDF para el mes de julio.

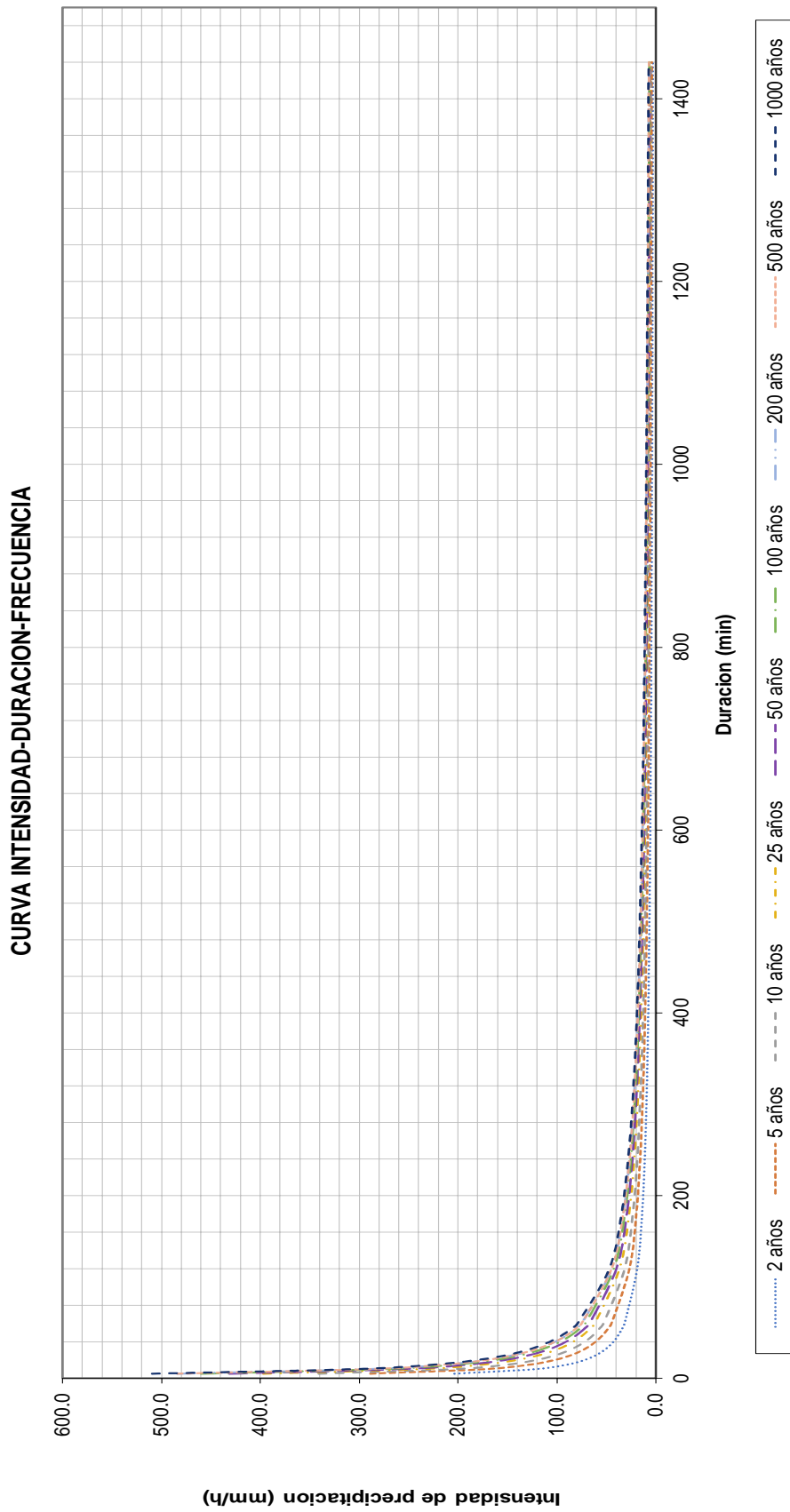


Figura 7.17: Curvas IDF para el mes de agosto.

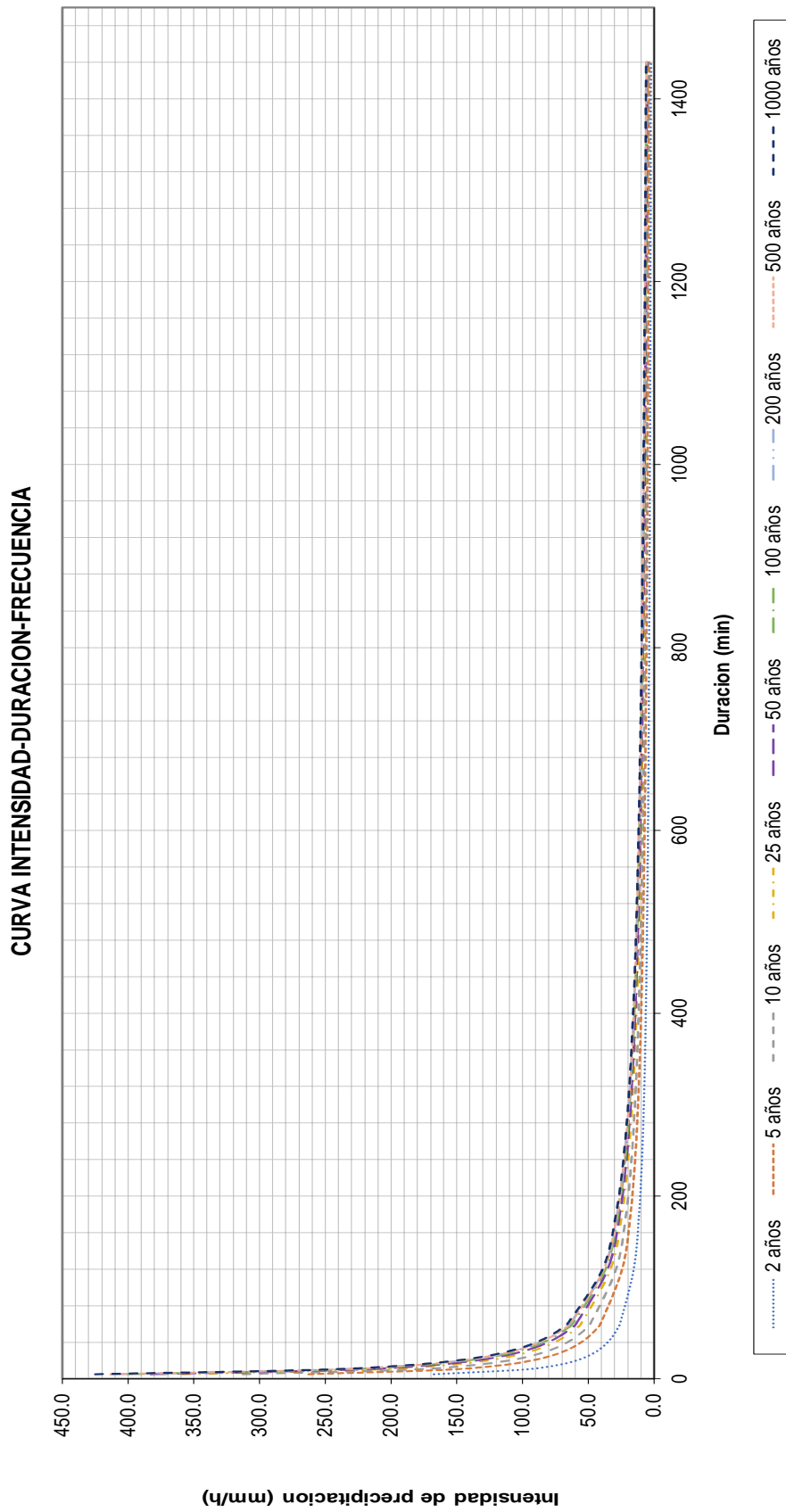


Figura 7.18: Curvas IDF para el mes de septiembre.

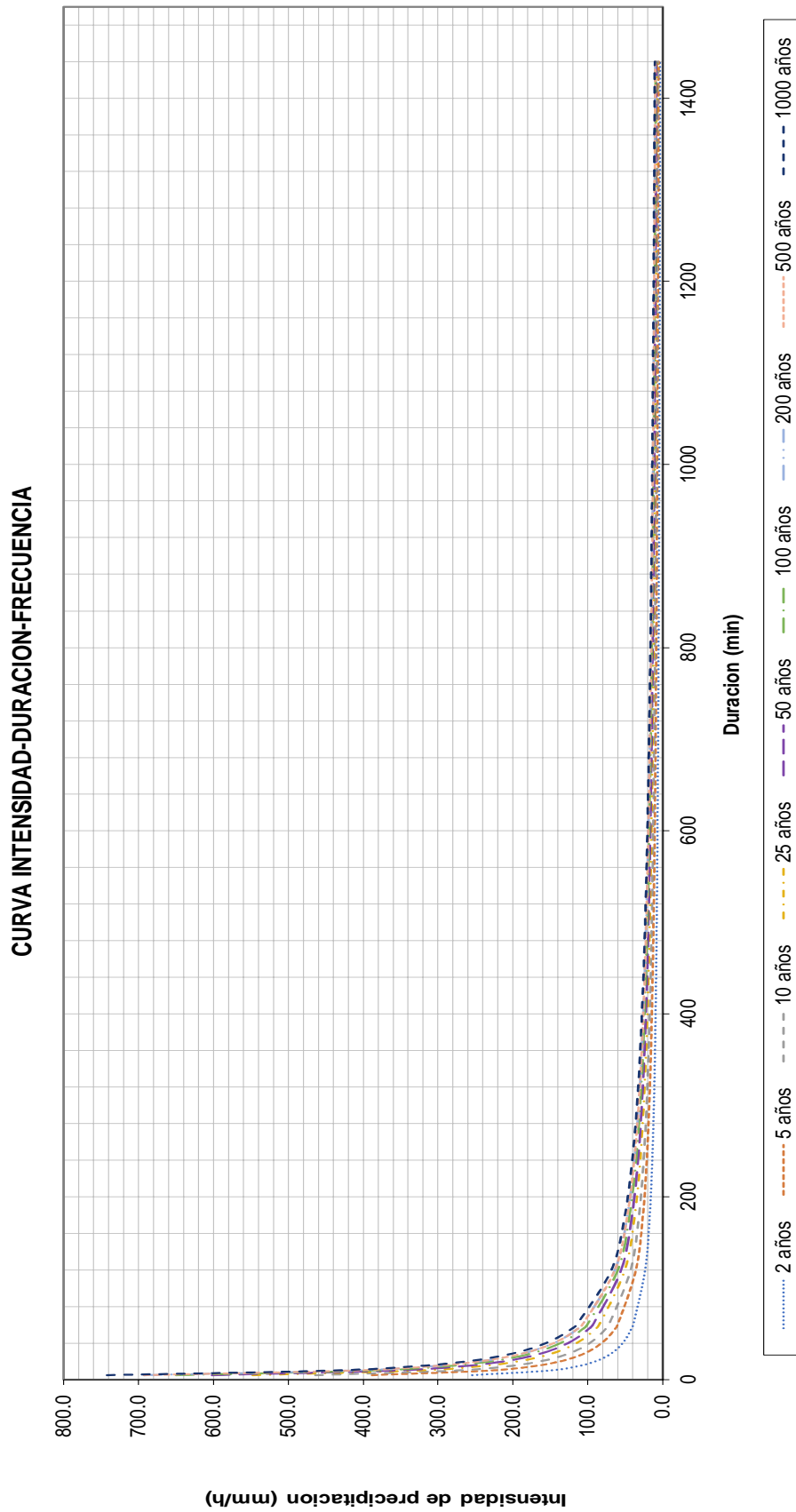


Figura 7.19: Curvas IDF para el mes de octubre.

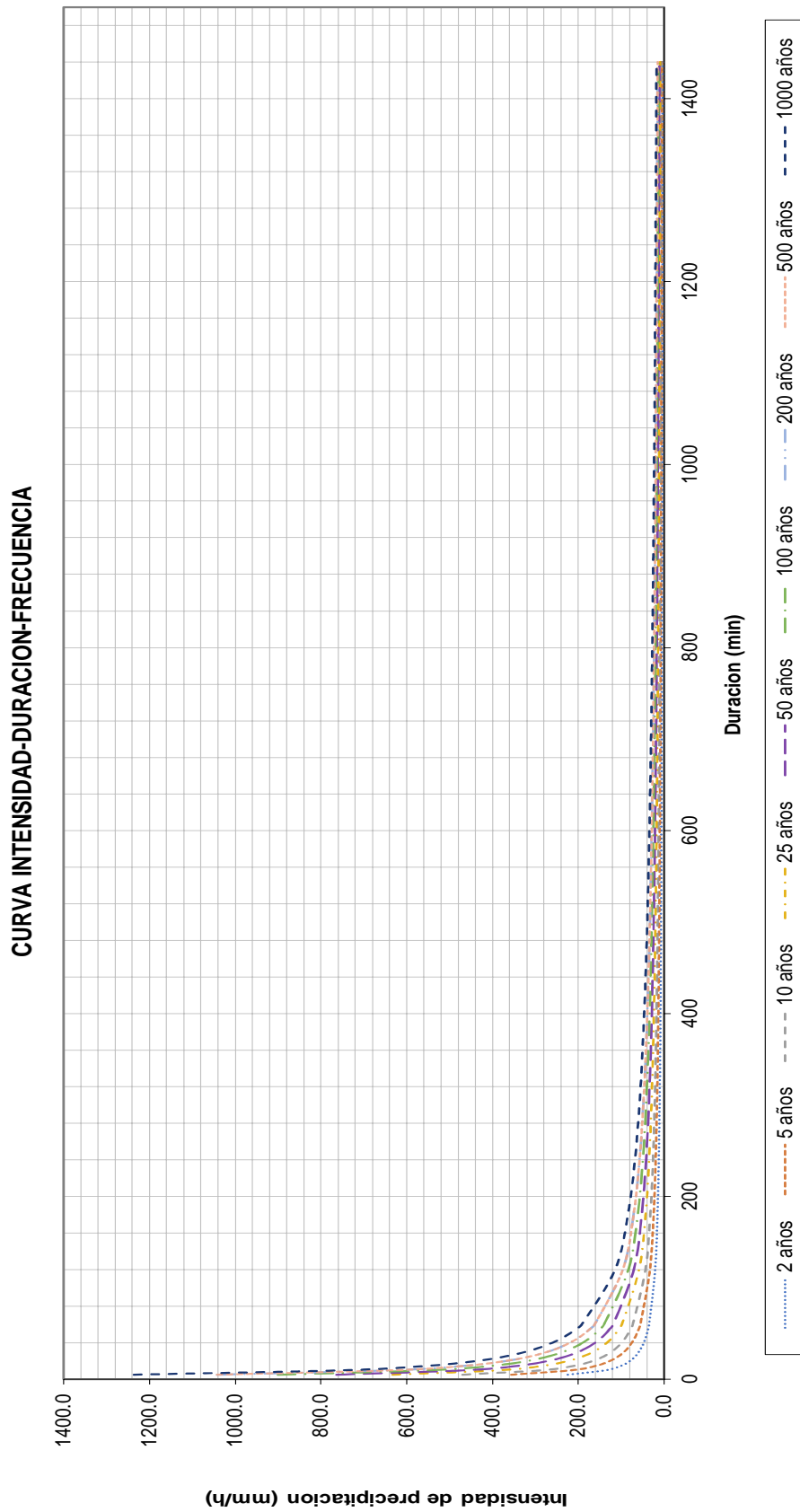


Figura 7.20: Curvas IDF para el mes de noviembre.

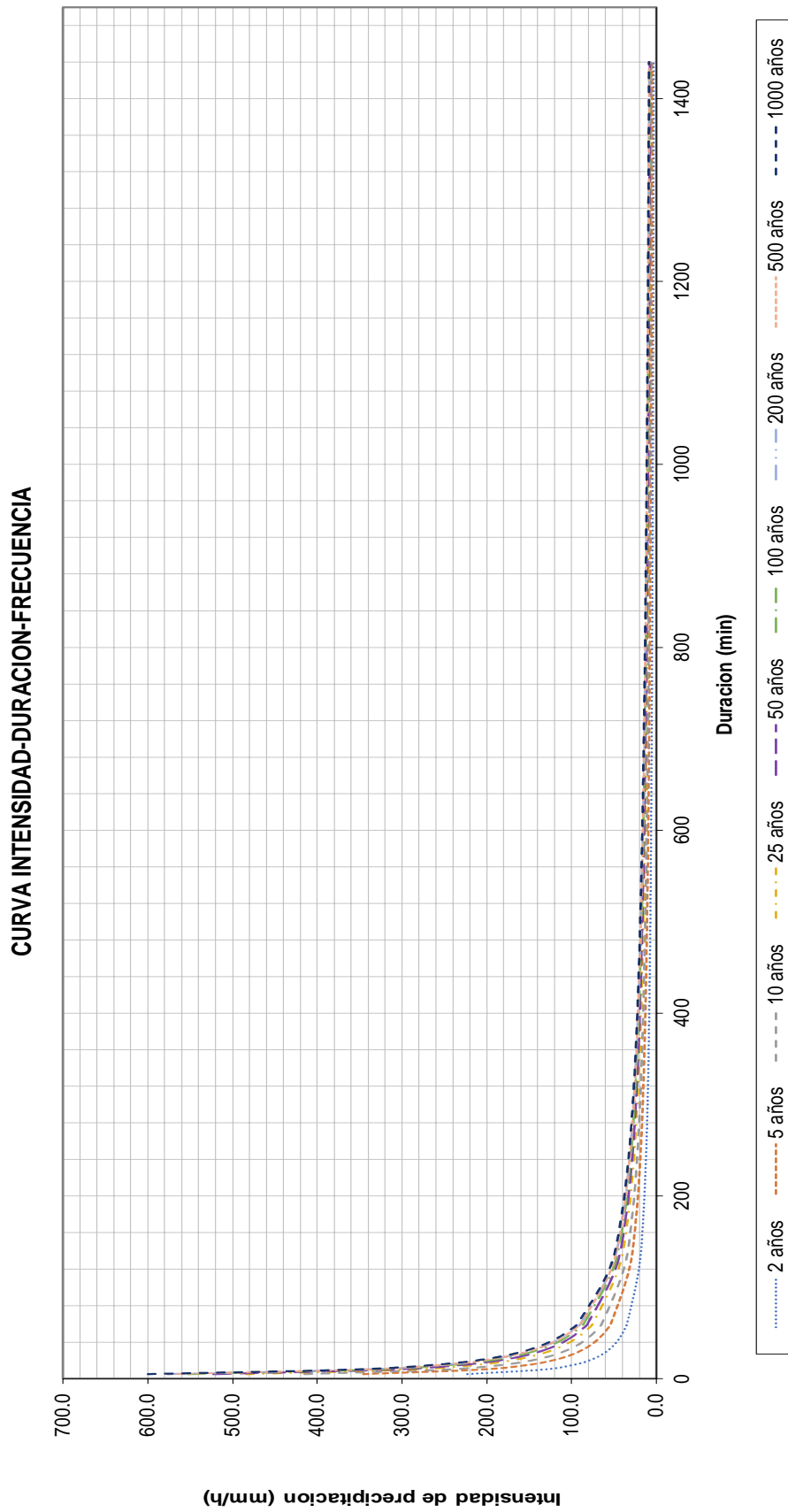


Figura 7.21: Curvas IDF para el mes de diciembre.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.36: Valores precipitación para el mes de enero.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	18.71	28.86	34.53	40.87	45.14	49.09	52.81	57.45	60.80
10	22.25	34.32	41.06	48.60	53.68	58.38	62.81	68.32	72.30
15	24.62	37.98	45.44	53.79	59.40	64.61	69.51	75.61	80.01
20	26.46	40.81	48.83	57.80	63.83	69.43	74.69	81.25	85.98
25	27.98	43.15	51.63	61.12	67.50	73.41	78.97	85.91	90.91
30	29.28	45.16	54.04	63.97	70.64	76.83	82.66	89.92	95.15
35	30.43	46.94	56.16	66.48	73.42	79.85	85.90	93.45	98.89
40	31.46	48.53	58.07	68.74	75.91	82.56	88.82	96.62	102.25
45	32.40	49.98	59.80	70.79	78.18	85.03	91.47	99.51	105.30
50	33.27	51.31	61.40	72.68	80.27	87.30	93.92	102.17	108.12
55	34.07	52.55	62.88	74.43	82.20	89.41	96.18	104.63	110.72
60	34.82	53.71	64.26	76.07	84.01	91.37	98.30	106.93	113.16
120	41.41	63.87	76.42	90.46	99.90	108.66	116.89	127.17	134.57
180	45.83	70.68	84.57	100.11	110.56	120.25	129.36	140.73	148.92
240	49.24	75.95	90.88	107.58	118.81	129.22	139.01	151.23	160.03
300	52.07	80.31	96.10	113.75	125.62	136.63	146.99	159.90	169.21
360	54.50	84.06	100.58	119.05	131.48	143.00	153.84	167.36	177.10
420	56.64	87.36	104.53	123.73	136.65	148.62	159.88	173.93	184.06
480	58.56	90.32	108.08	127.93	141.29	153.67	165.31	179.84	190.31
540	60.31	93.02	111.31	131.75	145.51	158.26	170.25	185.21	195.99
600	61.92	95.51	114.28	135.27	149.39	162.48	174.80	190.16	201.22
660	63.42	97.81	117.03	138.53	152.99	166.40	179.01	194.74	206.08
720	64.81	99.96	119.61	141.58	156.36	170.06	182.95	199.02	210.61
780	66.12	101.98	122.02	144.44	159.52	173.50	186.65	203.05	214.87
840	67.36	103.89	124.31	147.14	162.50	176.74	190.14	206.84	218.88
900	68.53	105.70	126.47	149.70	165.33	179.82	193.44	210.44	222.69
960	69.64	107.41	128.53	152.14	168.02	182.74	196.59	213.87	226.31
1020	70.71	109.05	130.49	154.46	170.59	185.53	199.59	217.13	229.77
1080	71.72	110.62	132.37	156.68	173.04	188.20	202.47	220.26	233.08
1140	72.70	112.13	134.17	158.82	175.39	190.77	205.22	223.25	236.25
1200	73.64	113.58	135.90	160.87	177.66	193.23	207.87	226.13	239.30
1260	74.54	114.97	137.57	162.84	179.84	195.60	210.42	228.91	242.23
1320	75.41	116.32	139.18	164.74	181.94	197.89	212.88	231.59	245.07
1380	76.26	117.62	140.73	166.59	183.98	200.10	215.26	234.18	247.81
1440	77.07	118.87	142.24	168.37	185.94	202.24	217.56	236.68	250.46

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.37: Valores precipitación para el mes de febrero.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	18.39	27.80	32.71	37.95	41.34	44.38	47.17	50.55	52.92
10	21.87	33.05	38.90	45.13	49.16	52.78	56.09	60.11	62.93
15	24.21	36.58	43.05	49.95	54.40	58.41	62.08	66.52	69.64
20	26.01	39.31	46.26	53.67	58.46	62.77	66.71	71.48	74.83
25	27.50	41.56	48.91	56.75	61.81	66.37	70.53	75.58	79.13
30	28.79	43.50	51.19	59.40	64.70	69.46	73.82	79.11	82.82
35	29.92	45.21	53.21	61.73	67.24	72.19	76.72	82.22	86.07
40	30.93	46.75	55.01	63.83	69.52	74.64	79.33	85.01	88.99
45	31.86	48.14	56.66	65.73	71.60	76.87	81.70	87.55	91.65
50	32.71	49.43	58.17	67.49	73.51	78.92	83.88	89.89	94.10
55	33.50	50.62	59.57	69.12	75.28	80.83	85.90	92.05	96.37
60	34.23	51.73	60.88	70.64	76.94	82.60	87.79	94.08	98.49
120	40.71	61.52	72.40	84.00	91.49	98.23	104.40	111.88	117.12
180	45.05	68.08	80.12	92.96	101.25	108.71	115.54	123.81	129.62
240	48.41	73.16	86.10	99.89	108.80	116.82	124.16	133.05	139.28
300	51.19	77.36	91.04	105.62	115.05	123.52	131.28	140.68	147.27
360	53.58	80.97	95.28	110.55	120.41	129.28	137.40	147.24	154.14
420	55.68	84.15	99.03	114.89	125.14	134.36	142.80	153.02	160.20
480	57.57	87.00	102.39	118.79	129.39	138.92	147.65	158.22	165.64
540	59.29	89.60	105.45	122.34	133.26	143.07	152.06	162.95	170.59
600	60.88	92.00	108.26	125.61	136.81	146.89	156.12	167.30	175.14
660	62.35	94.21	110.87	128.64	140.11	150.44	159.88	171.33	179.36
720	63.72	96.29	113.31	131.47	143.19	153.74	163.40	175.10	183.31
780	65.00	98.23	115.60	134.12	146.09	156.85	166.70	178.64	187.01
840	66.22	100.07	117.76	136.63	148.82	159.78	169.82	181.98	190.51
900	67.37	101.81	119.81	139.01	151.41	162.56	172.77	185.14	193.82
960	68.47	103.47	121.76	141.27	153.87	165.21	175.58	188.16	196.97
1020	69.51	105.05	123.62	143.43	156.22	167.73	178.26	191.03	199.98
1080	70.51	106.56	125.40	145.49	158.47	170.15	180.83	193.78	202.86
1140	71.47	108.01	127.11	147.47	160.63	172.46	183.29	196.42	205.62
1200	72.40	109.40	128.75	149.38	162.70	174.69	185.66	198.95	208.28
1260	73.28	110.74	130.33	151.21	164.70	176.83	187.94	201.39	210.83
1320	74.14	112.04	131.85	152.98	166.62	178.90	190.13	203.75	213.30
1380	74.97	113.29	133.32	154.69	168.49	180.90	192.26	206.02	215.68
1440	75.77	114.50	134.75	156.34	170.29	182.83	194.31	208.23	217.99

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.38: Valores precipitación para el mes de marzo.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	19.23	29.99	35.61	41.60	45.47	48.96	52.14	56.01	58.72
10	22.87	35.66	42.34	49.47	54.08	58.22	62.01	66.60	69.83
15	25.31	39.46	46.86	54.75	59.85	64.43	68.62	73.71	77.27
20	27.20	42.41	50.36	58.83	64.31	69.23	73.74	79.20	83.04
25	28.76	44.84	53.25	62.21	68.00	73.21	77.97	83.75	87.80
30	30.10	46.93	55.73	65.11	71.17	76.62	81.61	87.65	91.89
35	31.29	48.78	57.92	67.67	73.97	79.63	84.82	91.10	95.51
40	32.35	50.43	59.88	69.96	76.48	82.33	87.69	94.19	98.75
45	33.31	51.94	61.67	72.06	78.76	84.79	90.31	97.01	101.70
50	34.20	53.32	63.32	73.98	80.86	87.06	92.73	99.59	104.41
55	35.03	54.61	64.85	75.76	82.81	89.16	94.96	102.00	106.93
60	35.80	55.81	66.27	77.43	84.63	91.12	97.05	104.24	109.28
120	42.57	66.37	78.81	92.08	100.65	108.36	115.41	123.96	129.96
180	47.11	73.45	87.22	101.90	111.39	119.92	127.72	137.19	143.82
240	50.63	78.93	93.72	109.50	119.69	128.86	137.25	147.42	154.55
300	53.53	83.46	99.10	115.78	126.56	136.25	145.12	155.87	163.41
360	56.03	87.35	103.72	121.18	132.46	142.61	151.89	163.14	171.04
420	58.23	90.78	107.80	125.94	137.67	148.21	157.86	169.55	177.76
480	60.21	93.86	111.46	130.22	142.34	153.24	163.22	175.31	183.79
540	62.01	96.67	114.79	134.11	146.59	157.82	168.09	180.55	189.28
600	63.66	99.25	117.85	137.69	150.50	162.03	172.58	185.37	194.33
660	65.20	101.64	120.69	141.01	154.13	165.94	176.74	189.84	199.02
720	66.63	103.88	123.35	144.11	157.52	169.59	180.63	194.01	203.40
780	67.98	105.98	125.84	147.02	160.71	173.02	184.28	197.93	207.51
840	69.25	107.96	128.19	149.77	163.71	176.25	187.73	201.63	211.39
900	70.45	109.84	130.42	152.38	166.56	179.32	190.99	205.14	215.07
960	71.60	111.62	132.55	154.86	169.27	182.23	194.10	208.48	218.56
1020	72.69	113.33	134.57	157.22	171.85	185.02	197.06	211.66	221.90
1080	73.74	114.96	136.51	159.49	174.33	187.68	199.90	214.71	225.10
1140	74.74	116.52	138.36	161.66	176.70	190.23	202.62	217.63	228.16
1200	75.71	118.03	140.15	163.74	178.98	192.69	205.24	220.44	231.10
1260	76.63	119.48	141.87	165.75	181.18	195.05	207.75	223.14	233.94
1320	77.53	120.87	143.53	167.69	183.30	197.34	210.18	225.75	236.68
1380	78.40	122.22	145.13	169.56	185.35	199.54	212.53	228.28	239.32
1440	79.24	123.53	146.69	171.38	187.33	201.68	214.81	230.72	241.88

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.39: Valores precipitación para el mes de abril.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	21.57	34.62	41.44	48.71	53.41	57.63	61.50	66.19	69.48
10	25.65	41.17	49.28	57.92	63.51	68.54	73.14	78.71	82.62
15	28.39	45.56	54.53	64.10	70.29	75.85	80.94	87.11	91.44
20	30.50	48.95	58.60	68.88	75.53	81.51	86.98	93.60	98.25
25	32.25	51.76	61.96	72.84	79.86	86.18	91.97	98.97	103.89
30	33.76	54.18	64.85	76.23	83.59	90.20	96.25	103.59	108.74
35	35.08	56.31	67.40	79.23	86.87	93.74	100.04	107.66	113.01
40	36.27	58.22	69.69	81.92	89.82	96.93	103.43	111.31	116.84
45	37.36	59.96	71.77	84.37	92.50	99.82	106.52	114.64	120.34
50	38.35	61.56	73.68	86.62	94.97	102.49	109.37	117.70	123.55
55	39.28	63.04	75.46	88.71	97.26	104.96	112.00	120.54	126.53
60	40.14	64.43	77.12	90.66	99.40	107.27	114.47	123.19	129.31
120	47.74	76.62	91.71	107.81	118.21	127.56	136.12	146.50	153.78
180	52.83	84.79	101.50	119.31	130.82	141.17	150.65	162.13	170.18
240	56.77	91.11	109.07	128.21	140.58	151.70	161.88	174.22	182.87
300	60.03	96.34	115.32	135.56	148.64	160.40	171.17	184.21	193.36
360	62.83	100.83	120.70	141.89	155.57	167.88	179.15	192.80	202.38
420	65.30	104.80	125.44	147.46	161.68	174.48	186.19	200.38	210.33
480	67.51	108.35	129.70	152.47	167.17	180.40	192.51	207.18	217.47
540	69.53	111.59	133.58	157.02	172.17	185.79	198.26	213.37	223.97
600	71.38	114.57	137.14	161.21	176.76	190.75	203.55	219.07	229.95
660	73.11	117.33	140.45	165.10	181.03	195.35	208.46	224.35	235.49
720	74.71	119.91	143.54	168.73	185.01	199.65	213.05	229.28	240.67
780	76.22	122.34	146.44	172.14	188.75	203.68	217.35	233.92	245.54
840	77.65	124.62	149.18	175.36	192.28	207.49	221.42	238.29	250.13
900	79.00	126.79	151.77	178.41	195.62	211.10	225.27	242.44	254.48
960	80.29	128.85	154.24	181.31	198.80	214.54	228.93	246.38	258.62
1020	81.51	130.82	156.60	184.08	201.84	217.81	232.43	250.14	262.57
1080	82.68	132.70	158.85	186.73	204.74	220.95	235.77	253.74	266.35
1140	83.81	134.51	161.01	189.27	207.53	223.95	238.98	257.19	269.97
1200	84.89	136.25	163.09	191.72	210.21	226.84	242.07	260.51	273.45
1260	85.93	137.92	165.09	194.07	212.79	229.63	245.04	263.71	276.81
1320	86.94	139.53	167.02	196.34	215.28	232.31	247.90	266.80	280.05
1380	87.91	141.09	168.89	198.53	217.68	234.91	250.67	269.78	283.18
1440	88.85	142.60	170.70	200.66	220.01	237.42	253.36	272.66	286.21

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.40: Valores precipitación para el mes de mayo.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	24.14	34.93	42.38	52.09	59.50	67.08	74.85	85.48	93.83
10	28.70	41.54	50.40	61.94	70.76	79.77	89.01	101.65	111.58
15	31.76	45.98	55.78	68.55	78.31	88.28	98.50	112.50	123.48
20	34.13	49.41	59.94	73.66	84.15	94.86	105.85	120.89	132.69
25	36.09	52.24	63.38	77.89	88.98	100.30	111.92	127.82	140.30
30	37.77	54.68	66.33	81.52	93.13	104.98	117.14	133.78	146.85
35	39.26	56.82	68.94	84.72	96.79	109.10	121.74	139.04	152.62
40	40.59	58.75	71.28	87.60	100.07	112.81	125.88	143.76	157.80
45	41.80	60.51	73.41	90.22	103.07	116.18	129.64	148.05	162.51
50	42.92	62.12	75.37	92.62	105.82	119.28	133.10	152.01	166.85
55	43.96	63.62	77.19	94.86	108.37	122.16	136.31	155.67	170.87
60	44.92	65.02	78.89	96.94	110.75	124.84	139.31	159.09	174.63
120	53.42	77.32	93.81	115.29	131.71	148.46	165.66	189.20	207.67
180	59.12	85.57	103.82	127.58	145.76	164.30	183.34	209.38	229.83
240	63.53	91.95	111.56	137.10	156.63	176.55	197.01	224.99	246.97
300	67.17	97.23	117.96	144.96	165.61	186.68	208.31	237.90	261.14
360	70.31	101.76	123.46	151.72	173.33	195.39	218.02	249.00	273.31
420	73.07	105.76	128.31	157.69	180.14	203.07	226.59	258.78	284.05
480	75.55	109.35	132.67	163.04	186.26	209.96	234.28	267.56	293.69
540	77.81	112.62	136.63	167.91	191.83	216.23	241.28	275.56	302.47
600	79.88	115.63	140.28	172.39	196.95	222.00	247.72	282.92	310.54
660	81.81	118.41	143.66	176.55	201.70	227.36	253.70	289.74	318.03
720	83.61	121.02	146.82	180.43	206.13	232.36	259.28	296.11	325.03
780	85.30	123.46	149.79	184.08	210.30	237.05	264.52	302.09	331.60
840	86.89	125.77	152.59	187.52	214.23	241.49	269.46	307.74	337.80
900	88.41	127.96	155.25	190.78	217.96	245.69	274.15	313.10	343.67
960	89.84	130.04	157.77	193.89	221.50	249.68	278.61	318.19	349.26
1020	91.22	132.03	160.18	196.85	224.88	253.50	282.87	323.05	354.60
1080	92.53	133.93	162.49	199.68	228.12	257.15	286.94	327.70	359.70
1140	93.79	135.75	164.70	202.40	231.23	260.65	290.84	332.16	364.60
1200	95.00	137.50	166.82	205.01	234.21	264.01	294.59	336.44	369.30
1260	96.16	139.19	168.87	207.53	237.08	267.25	298.21	340.57	373.83
1320	97.29	140.82	170.85	209.95	239.86	270.38	301.70	344.56	378.21
1380	98.38	142.39	172.76	212.30	242.54	273.40	305.07	348.41	382.43
1440	99.43	143.92	174.60	214.57	245.13	276.32	308.33	352.14	386.52

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.41: Valores precipitación para el mes de junio.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	21.78	31.31	37.85	46.33	52.79	59.37	66.11	75.31	82.52
10	25.91	37.23	45.01	55.09	62.78	70.60	78.62	89.56	98.13
15	28.67	41.21	49.81	60.97	69.48	78.14	87.01	99.11	108.60
20	30.81	44.28	53.52	65.52	74.66	83.96	93.49	106.50	116.70
25	32.58	46.82	56.59	69.27	78.94	88.78	98.86	112.61	123.39
30	34.10	49.00	59.23	72.50	82.62	92.92	103.47	117.87	129.15
35	35.43	50.93	61.56	75.35	85.87	96.57	107.53	122.50	134.22
40	36.64	52.66	63.65	77.91	88.78	99.85	111.18	126.66	138.78
45	37.73	54.23	65.55	80.24	91.43	102.83	114.51	130.44	142.92
50	38.74	55.68	67.30	82.38	93.88	105.58	117.56	133.92	146.74
55	39.67	57.02	68.92	84.37	96.14	108.12	120.40	137.15	150.28
60	40.55	58.27	70.44	86.22	98.25	110.50	123.04	140.17	153.58
120	48.22	69.30	83.77	102.54	116.84	131.41	146.33	166.69	182.64
180	53.36	76.69	92.70	113.48	129.31	145.43	161.94	184.47	202.13
240	57.34	82.41	99.62	121.94	138.95	156.27	174.01	198.23	217.20
300	60.63	87.14	105.33	128.93	146.92	165.24	183.99	209.60	229.66
360	63.46	91.20	110.24	134.95	153.77	172.94	192.58	219.37	240.37
420	65.95	94.79	114.58	140.25	159.82	179.74	200.14	227.99	249.81
480	68.19	98.00	118.46	145.01	165.24	185.84	206.94	235.73	258.29
540	70.23	100.93	122.00	149.34	170.18	191.39	213.12	242.78	266.01
600	72.10	103.63	125.26	153.33	174.72	196.50	218.81	249.26	273.11
660	73.84	106.13	128.28	157.03	178.93	201.24	224.08	255.27	279.70
720	75.47	108.46	131.10	160.48	182.87	205.67	229.01	260.88	285.85
780	76.99	110.65	133.75	163.72	186.57	209.82	233.64	266.15	291.63
840	78.43	112.72	136.25	166.78	190.05	213.75	238.01	271.13	297.08
900	79.79	114.68	138.62	169.69	193.36	217.47	242.15	275.85	302.25
960	81.09	116.55	140.88	172.45	196.51	221.00	246.09	280.34	307.16
1020	82.33	118.33	143.03	175.08	199.51	224.38	249.85	284.62	311.86
1080	83.52	120.03	145.09	177.60	202.38	227.61	253.44	288.71	316.34
1140	84.65	121.66	147.06	180.02	205.13	230.70	256.89	292.64	320.65
1200	85.75	123.23	148.96	182.34	207.78	233.68	260.21	296.42	324.79
1260	86.80	124.75	150.79	184.58	210.33	236.55	263.40	300.06	328.77
1320	87.81	126.21	152.55	186.74	212.79	239.32	266.48	303.57	332.62
1380	88.79	127.62	154.26	188.82	215.17	241.99	269.46	306.96	336.34
1440	89.74	128.98	155.91	190.84	217.47	244.58	272.34	310.24	339.93

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.42: Valores precipitación para el mes de julio.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	24.03	34.79	42.94	53.70	61.85	69.99	78.13	88.90	97.04
10	28.58	41.38	51.06	63.86	73.55	83.23	92.92	105.72	115.40
15	31.63	45.79	56.51	70.68	81.39	92.11	102.83	117.00	127.71
20	33.98	49.21	60.72	75.95	87.46	98.98	110.50	125.72	137.24
25	35.93	52.03	64.21	80.30	92.48	104.66	116.84	132.93	145.11
30	37.61	54.46	67.20	84.05	96.79	109.54	122.28	139.13	151.88
35	39.09	56.60	69.84	87.35	100.60	113.84	127.09	144.60	157.84
40	40.41	58.52	72.21	90.32	104.01	117.71	131.40	149.51	163.20
45	41.62	60.27	74.37	93.02	107.12	121.22	135.33	153.97	168.08
50	42.73	61.87	76.36	95.50	109.98	124.46	138.94	158.08	172.56
55	43.76	63.37	78.20	97.80	112.63	127.46	142.29	161.90	176.73
60	44.72	64.76	79.92	99.95	115.11	130.26	145.42	165.46	180.61
120	53.19	77.01	95.04	118.86	136.89	154.91	172.94	196.76	214.79
180	58.86	85.23	105.18	131.54	151.49	171.44	191.38	217.75	237.70
240	63.25	91.58	113.02	141.35	162.79	184.22	205.66	233.99	255.42
300	66.88	96.84	119.50	149.46	172.13	194.79	217.45	247.41	270.08
360	70.00	101.36	125.08	156.43	180.15	203.88	227.60	258.95	282.67
420	72.75	105.34	129.99	162.58	187.23	211.89	236.54	269.13	293.78
480	75.22	108.91	134.40	168.10	193.59	219.08	244.57	278.26	303.75
540	77.47	112.17	138.42	173.12	199.37	225.62	251.88	286.58	312.83
600	79.53	115.16	142.11	177.74	204.69	231.65	258.60	294.23	321.18
660	81.45	117.94	145.54	182.03	209.63	237.23	264.83	301.32	328.92
720	83.24	120.53	148.74	186.03	214.24	242.45	270.66	307.95	336.16
780	84.93	122.97	151.75	189.79	218.57	247.35	276.13	314.17	342.95
840	86.51	125.27	154.59	193.34	222.66	251.98	281.29	320.05	349.37
900	88.02	127.45	157.28	196.70	226.53	256.36	286.19	325.62	355.44
960	89.45	129.52	159.83	199.90	230.22	260.53	290.84	330.91	361.23
1020	90.82	131.50	162.27	202.96	233.73	264.51	295.28	335.97	366.74
1080	92.12	133.39	164.61	205.88	237.10	268.31	299.53	340.80	372.02
1140	93.38	135.21	166.85	208.68	240.32	271.97	303.61	345.44	377.08
1200	94.58	136.95	169.00	211.37	243.42	275.48	307.53	349.90	381.95
1260	95.74	138.63	171.08	213.97	246.41	278.86	311.30	354.19	386.64
1320	96.86	140.25	173.08	216.47	249.29	282.12	314.94	358.33	391.16
1380	97.94	141.82	175.01	218.89	252.08	285.27	318.46	362.34	395.53
1440	98.99	143.34	176.88	221.23	254.78	288.32	321.87	366.21	399.76

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.43: Valores precipitación para el mes de agosto.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	16.96	24.06	28.42	33.08	35.94	38.33	40.32	42.46	43.76
10	20.17	28.62	33.79	39.34	42.74	45.58	47.95	50.49	52.04
15	22.33	31.67	37.40	43.54	47.30	50.44	53.06	55.87	57.60
20	23.99	34.03	40.19	46.79	50.83	54.20	57.02	60.04	61.89
25	25.37	35.99	42.49	49.47	53.74	57.31	60.29	63.49	65.44
30	26.55	37.66	44.47	51.78	56.25	59.99	63.10	66.45	68.49
35	27.59	39.14	46.22	53.81	58.46	62.34	65.58	69.06	71.19
40	28.53	40.47	47.79	55.64	60.45	64.46	67.81	71.40	73.60
45	29.38	41.68	49.22	57.30	62.25	66.39	69.83	73.54	75.80
50	30.17	42.79	50.53	58.83	63.91	68.16	71.70	75.50	77.82
55	30.89	43.83	51.75	60.25	65.45	69.80	73.43	77.32	79.70
60	31.57	44.79	52.89	61.57	66.89	71.34	75.04	79.02	81.45
120	37.55	53.26	62.89	73.22	79.55	84.83	89.24	93.97	96.87
180	41.55	58.95	69.60	81.03	88.04	93.88	98.76	103.99	107.20
240	44.65	63.34	74.79	87.08	94.60	100.88	106.13	111.75	115.19
300	47.21	66.98	79.08	92.07	100.03	106.67	112.21	118.16	121.80
360	49.41	70.10	82.77	96.37	104.69	111.65	117.45	123.67	127.48
420	51.36	72.85	86.02	100.15	108.81	116.03	122.06	128.53	132.49
480	53.10	75.33	88.94	103.55	112.50	119.97	126.21	132.89	136.99
540	54.69	77.58	91.60	106.65	115.86	123.56	129.98	136.86	141.08
600	56.15	79.65	94.05	109.49	118.96	126.85	133.45	140.52	144.85
660	57.50	81.57	96.32	112.13	121.82	129.91	136.66	143.91	148.34
720	58.76	83.36	98.43	114.60	124.50	132.77	139.67	147.07	151.60
780	59.95	85.05	100.42	116.92	127.02	135.45	142.49	150.04	154.67
840	61.07	86.64	102.30	119.10	129.40	137.99	145.16	152.85	157.56
900	62.14	88.15	104.08	121.17	131.65	140.39	147.68	155.51	160.30
960	63.15	89.58	105.77	123.15	133.79	142.67	150.08	158.04	162.91
1020	64.11	90.95	107.39	125.03	135.83	144.85	152.38	160.45	165.40
1080	65.03	92.26	108.93	126.83	137.79	146.93	154.57	162.76	167.78
1140	65.92	93.51	110.42	128.55	139.66	148.93	156.67	164.97	170.06
1200	66.77	94.72	111.84	130.21	141.46	150.86	158.69	167.10	172.25
1260	67.59	95.88	113.21	131.81	143.20	152.71	160.64	169.15	174.37
1320	68.38	97.00	114.54	133.35	144.87	154.49	162.52	171.13	176.41
1380	69.14	98.09	115.82	134.84	146.49	156.22	164.34	173.05	178.38
1440	69.88	99.14	117.06	136.28	148.06	157.89	166.10	174.90	180.29

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.44: Valores precipitación para el mes de septiembre.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	13.95	21.91	26.07	29.90	31.90	33.37	34.44	35.42	35.93
10	16.59	26.05	31.00	35.56	37.94	39.68	40.95	42.12	42.73
15	18.36	28.83	34.31	39.35	41.99	43.91	45.32	46.61	47.29
20	19.73	30.98	36.87	42.28	45.12	47.19	48.70	50.09	50.82
25	20.86	32.76	38.98	44.71	47.71	49.90	51.49	52.96	53.73
30	21.83	34.28	40.80	46.79	49.93	52.22	53.90	55.43	56.24
35	22.69	35.63	42.40	48.63	51.89	54.27	56.01	57.61	58.45
40	23.46	36.84	43.84	50.28	53.66	56.12	57.91	59.57	60.43
45	24.16	37.94	45.15	51.79	55.26	57.79	59.64	61.35	62.24
50	24.81	38.95	46.36	53.17	56.73	59.34	61.24	62.99	63.90
55	25.41	39.89	47.48	54.45	58.10	60.77	62.71	64.50	65.44
60	25.97	40.77	48.52	55.65	59.38	62.10	64.09	65.92	66.88
120	30.88	48.49	57.70	66.18	70.62	73.85	76.22	78.40	79.53
180	34.17	53.66	63.85	73.24	78.15	81.73	84.35	86.76	88.02
240	36.72	57.66	68.62	78.70	83.98	87.83	90.64	93.23	94.58
300	38.83	60.97	72.55	83.21	88.79	92.87	95.84	98.58	100.01
360	40.64	63.81	75.94	87.10	92.94	97.20	100.31	103.17	104.67
420	42.24	66.32	78.92	90.52	96.59	101.02	104.25	107.23	108.79
480	43.67	68.57	81.60	93.59	99.87	104.45	107.79	110.87	112.48
540	44.97	70.62	84.04	96.39	102.85	107.57	111.01	114.18	115.84
600	46.17	72.50	86.28	98.96	105.59	110.44	113.97	117.23	118.93
660	47.29	74.25	88.36	101.35	108.14	113.10	116.72	120.06	121.80
720	48.33	75.88	90.30	103.57	110.52	115.59	119.29	122.70	124.48
780	49.30	77.42	92.13	105.67	112.75	117.92	121.70	125.18	126.99
840	50.23	78.86	93.85	107.64	114.86	120.13	123.98	127.52	129.37
900	51.10	80.24	95.49	109.52	116.86	122.22	126.13	129.73	131.62
960	51.93	81.54	97.04	111.30	118.76	124.21	128.19	131.84	133.76
1020	52.72	82.79	98.52	113.00	120.57	126.10	130.14	133.86	135.80
1080	53.48	83.98	99.94	114.62	122.31	127.92	132.02	135.78	137.76
1140	54.21	85.12	101.30	116.18	123.97	129.66	133.81	137.63	139.63
1200	54.91	86.22	102.61	117.68	125.57	131.33	135.54	139.41	141.43
1260	55.59	87.28	103.86	119.13	127.12	132.95	137.20	141.12	143.17
1320	56.24	88.30	105.08	120.52	128.60	134.50	138.81	142.77	144.84
1380	56.86	89.29	106.25	121.87	130.04	136.00	140.36	144.37	146.46
1440	57.47	90.24	107.39	123.17	131.43	137.46	141.86	145.91	148.03

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.45: Valores precipitación para el mes de octubre.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	21.21	32.34	38.67	45.63	50.15	54.15	57.72	61.84	64.58
10	25.22	38.46	45.98	54.27	59.64	64.40	68.64	73.54	76.79
15	27.91	42.57	50.89	60.05	66.00	71.27	75.96	81.39	84.99
20	29.99	45.74	54.68	64.53	70.92	76.58	81.62	87.46	91.32
25	31.71	48.36	57.82	68.24	74.99	80.98	86.30	92.47	96.56
30	33.19	50.62	60.52	71.42	78.49	84.75	90.33	96.79	101.07
35	34.49	52.61	62.89	74.22	81.57	88.08	93.88	100.59	105.04
40	35.67	54.39	65.03	76.74	84.34	91.07	97.07	104.00	108.60
45	36.73	56.02	66.97	79.04	86.86	93.80	99.97	107.11	111.85
50	37.71	57.51	68.76	81.15	89.18	96.30	102.63	109.97	114.83
55	38.62	58.90	70.42	83.10	91.33	98.62	105.11	112.62	117.60
60	39.47	60.20	71.97	84.93	93.34	100.79	107.42	115.10	120.19
120	46.94	71.59	85.58	101.00	111.00	119.86	127.75	136.88	142.93
180	51.95	79.22	94.71	111.77	122.84	132.65	141.37	151.48	158.18
240	55.82	85.13	101.78	120.11	132.00	142.54	151.92	162.77	169.97
300	59.02	90.01	107.62	127.00	139.58	150.72	160.63	172.11	179.73
360	61.77	94.21	112.63	132.92	146.08	157.75	168.12	180.14	188.11
420	64.20	97.91	117.06	138.15	151.82	163.94	174.73	187.22	195.50
480	66.38	101.24	121.03	142.84	156.98	169.51	180.66	193.57	202.13
540	68.36	104.26	124.65	147.10	161.67	174.57	186.06	199.36	208.18
600	70.19	107.05	127.98	151.03	165.98	179.23	191.02	204.68	213.73
660	71.88	109.63	131.06	154.67	169.99	183.56	195.63	209.61	218.89
720	73.46	112.04	133.94	158.07	173.72	187.59	199.93	214.22	223.70
780	74.95	114.30	136.65	161.27	177.24	191.38	203.97	218.55	228.22
840	76.35	116.44	139.21	164.28	180.55	194.96	207.79	222.64	232.49
900	77.68	118.47	141.63	167.14	183.69	198.35	211.40	226.51	236.53
960	78.94	120.39	143.93	169.86	186.68	201.58	214.84	230.20	240.38
1020	80.15	122.23	146.13	172.46	189.53	204.66	218.12	233.71	244.05
1080	81.30	123.99	148.23	174.94	192.26	207.60	221.26	237.08	247.56
1140	82.41	125.68	150.25	177.32	194.87	210.43	224.27	240.30	250.93
1200	83.47	127.30	152.19	179.61	197.39	213.15	227.17	243.41	254.17
1260	84.49	128.86	154.06	181.81	199.81	215.76	229.95	246.39	257.29
1320	85.48	130.37	155.86	183.94	202.15	218.29	232.64	249.27	260.30
1380	86.44	131.83	157.60	185.99	204.41	220.72	235.24	252.06	263.21
1440	87.36	133.24	159.29	187.98	206.59	223.09	237.76	254.76	266.02

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.46: Valores precipitación para el mes de noviembre.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	18.70	29.70	39.17	52.75	63.67	75.06	86.86	103.03	115.64
10	22.23	35.31	46.58	62.73	75.71	89.26	103.29	122.52	137.52
15	24.60	39.08	51.54	69.42	83.79	98.78	114.31	135.59	152.19
20	26.44	42.00	55.39	74.60	90.04	106.15	122.84	145.70	163.54
25	27.96	44.41	58.57	78.88	95.20	112.24	129.89	154.06	172.93
30	29.26	46.48	61.30	82.55	99.64	117.47	135.94	161.25	180.99
35	30.41	48.30	63.71	85.80	103.56	122.09	141.28	167.58	188.10
40	31.44	49.94	65.87	88.71	107.08	126.23	146.08	173.27	194.49
45	32.38	51.44	67.84	91.36	110.28	130.00	150.45	178.45	200.30
50	33.25	52.81	69.65	93.80	113.22	133.47	154.46	183.21	205.65
55	34.05	54.08	71.33	96.06	115.95	136.69	158.19	187.63	210.60
60	34.80	55.27	72.90	98.17	118.50	139.70	161.66	191.76	215.24
120	41.38	65.73	86.69	116.75	140.92	166.13	192.25	228.04	255.96
180	45.79	72.74	95.94	129.20	155.95	183.85	212.76	252.36	283.27
240	49.21	78.16	103.09	138.84	167.58	197.56	228.63	271.18	304.39
300	52.03	82.65	109.00	146.80	177.20	208.90	241.74	286.74	321.85
360	54.46	86.50	114.09	153.65	185.46	218.64	253.02	300.11	336.86
420	56.60	89.90	118.57	159.69	192.75	227.23	262.96	311.90	350.10
480	58.52	92.95	122.59	165.11	199.29	234.94	271.89	322.49	361.98
540	60.27	95.73	126.26	170.04	205.25	241.96	280.01	332.13	372.80
600	61.88	98.29	129.63	174.58	210.72	248.42	287.48	340.99	382.75
660	63.37	100.66	132.75	178.79	215.80	254.41	294.42	349.22	391.98
720	64.76	102.87	135.67	182.72	220.55	260.00	300.89	356.90	400.60
780	66.07	104.95	138.42	186.41	225.01	265.26	306.97	364.11	408.70
840	67.31	106.91	141.00	189.90	229.22	270.22	312.71	370.92	416.34
900	68.48	108.77	143.46	193.20	233.20	274.92	318.15	377.37	423.58
960	69.59	110.54	145.79	196.35	237.00	279.39	323.33	383.51	430.47
1020	70.66	112.23	148.02	199.35	240.62	283.66	328.27	389.37	437.05
1080	71.67	113.84	150.15	202.21	244.08	287.74	332.99	394.97	443.34
1140	72.65	115.39	152.19	204.97	247.40	291.66	337.52	400.35	449.37
1200	73.59	116.88	154.15	207.61	250.59	295.42	341.88	405.51	455.17
1260	74.49	118.32	156.05	210.16	253.67	299.05	346.07	410.49	460.75
1320	75.36	119.70	157.87	212.62	256.64	302.55	350.12	415.29	466.14
1380	76.20	121.04	159.64	214.99	259.50	305.93	354.04	419.93	471.35
1440	77.02	122.33	161.34	217.29	262.28	309.20	357.82	424.42	476.40

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.47: Valores precipitación para el mes de diciembre.

	Periodo de retorno (<i>años</i>)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Tiempo (<i>min</i>)	Precipitación (<i>mm</i>)								
5	18.58	28.81	34.59	40.32	43.56	46.08	48.04	49.99	51.09
10	22.10	34.26	41.14	47.95	51.80	54.79	57.13	59.44	60.75
15	24.45	37.92	45.53	53.06	57.32	60.64	63.22	65.79	67.23
20	26.28	40.75	48.92	57.02	61.60	65.16	67.94	70.69	72.25
25	27.78	43.08	51.73	60.29	65.13	68.90	71.84	74.75	76.39
30	29.08	45.09	54.14	63.10	68.17	72.11	75.19	78.23	79.95
35	30.22	46.86	56.27	65.58	70.85	74.95	78.14	81.31	83.09
40	31.25	48.46	58.18	67.81	73.25	77.49	80.79	84.07	85.91
45	32.18	49.90	59.91	69.84	75.44	79.81	83.21	86.58	88.48
50	33.04	51.24	61.51	71.70	77.45	81.94	85.43	88.89	90.84
55	33.84	52.47	63.00	73.43	79.32	83.91	87.49	91.03	93.03
60	34.58	53.62	64.38	75.04	81.07	85.76	89.41	93.03	95.08
120	41.12	63.77	76.56	89.24	96.41	101.98	106.33	110.64	113.07
180	45.51	70.57	84.73	98.76	106.69	112.86	117.67	122.44	125.13
240	48.90	75.84	91.05	106.13	114.65	121.28	126.45	131.57	134.46
300	51.71	80.19	96.27	112.22	121.22	128.24	133.70	139.12	142.18
360	54.12	83.93	100.76	117.45	126.88	134.22	139.94	145.61	148.81
420	56.25	87.22	104.72	122.06	131.86	139.49	145.44	151.33	154.66
480	58.16	90.19	108.28	126.21	136.34	144.23	150.37	156.47	159.91
540	59.90	92.88	111.51	129.98	140.41	148.54	154.87	161.14	164.68
600	61.49	95.36	114.49	133.45	144.16	152.50	159.00	165.44	169.08
660	62.98	97.66	117.25	136.67	147.64	156.18	162.84	169.43	173.16
720	64.36	99.81	119.83	139.67	150.88	159.61	166.42	173.16	176.96
780	65.66	101.82	122.25	142.50	153.93	162.84	169.78	176.66	180.54
840	66.89	103.73	124.54	145.16	156.81	165.89	172.95	179.96	183.92
900	68.06	105.53	126.70	147.69	159.54	168.77	175.96	183.09	187.12
960	69.16	107.25	128.77	150.09	162.13	171.52	178.83	186.07	190.16
1020	70.22	108.89	130.73	152.38	164.61	174.14	181.56	188.91	193.07
1080	71.23	110.45	132.61	154.57	166.98	176.64	184.17	191.63	195.84
1140	72.20	111.96	134.42	156.68	169.25	179.05	186.68	194.24	198.51
1200	73.13	113.40	136.15	158.70	171.44	181.36	189.09	196.74	201.07
1260	74.03	114.79	137.82	160.65	173.54	183.58	191.41	199.16	203.54
1320	74.89	116.14	139.44	162.53	175.57	185.73	193.65	201.49	205.92
1380	75.73	117.43	140.99	164.34	177.53	187.81	195.81	203.74	208.22
1440	76.54	118.69	142.50	166.10	179.43	189.82	197.90	205.92	210.45

Ecuación de intensidad máxima

En las tablas a continuación se muestra el resultado del proceso de regresión múltiple en Excel para determinar la ecuación de intensidad a ser empleada. En las figuras se puede apreciar la ecuación para la tormenta de diseño mediante el software HidroEsta.

Tabla 7.48: Resultados de la regresión lineal múltiple para enero.

	Coefficientes	Error
Intercepción	2.9380	0.0118
Variable X 1	-0.75	0.0042
Variable X 2	0.1602	0.0035

Tabla 7.49: Resultados de la regresión lineal múltiple para febrero.

	Coefficientes	Error
Intercepción	2.9328	0.0114
Variable X 1	-0.75	0.0040
Variable X 2	0.1426	0.0034

Tabla 7.50: Resultados de la regresión lineal múltiple para marzo.

	Coefficientes	Error
Intercepción	2.9585	0.0122
Variable X 1	-0.75	0.0043
Variable X 2	0.1501	0.0036

Tabla 7.51: Resultados de la regresión lineal múltiple para abril.

	Coefficientes	Error
Intercepción	3.0142	0.0130
Variable X 1	-0.75	0.0046
Variable X 2	0.1568	0.0039

Tabla 7.52: Resultados de la regresión lineal múltiple para mayo.

	Coefficientes	Error
Intercepción	3.0121	0.0099
Variable X 1	-0.75	0.0035
Variable X 2	0.1903	0.0029

Tabla 7.53: Resultados de la regresión lineal múltiple para junio.

	Coeficientes	Error
Intercepción	2.9671	0.0097
Variable X 1	-0.75	0.0034
Variable X 2	0.1867	0.0029

Tabla 7.54: Resultados de la regresión lineal múltiple para julio.

	Coeficientes	Error
Intercepción	3.0096	0.0105
Variable X 1	-0.75	0.0037
Variable X 2	0.1988	0.0031

Tabla 7.55: Resultados de la regresión lineal múltiple para agosto.

	Coeficientes	Error
Intercepción	2.8878	0.0106
Variable X 1	-0.75	0.0037
Variable X 2	0.1326	0.0031

Tabla 7.56: Resultados de la regresión lineal múltiple para septiembre.

	Coeficientes	Error
Intercepción	2.8392	0.0135
Variable X 1	-0.75	0.0048
Variable X 2	0.1262	0.0040

Tabla 7.57: Resultados de la regresión lineal múltiple para octubre.

	Coeficientes	Error
Intercepción	2.9948	0.0120
Variable X 1	-0.75	0.0042
Variable X 2	0.1529	0.0036

Tabla 7.58: Resultados de la regresión lineal múltiple para noviembre.

	Coeficientes	Error
Intercepción	2.9018	0.0134
Variable X 1	-0.75	0.0047
Variable X 2	0.2612	0.0040

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Tabla 7.59: Resultados de la regresión lineal múltiple para diciembre.

	Coeficientes	Error
Intercepción	2.9544	0.0132
Variable X 1	-0.75	0.0047
Variable X 2	0.1377	0.0039

Ingreso de datos y cálculo ecuación Imax Resultados y gráfico Imax-D-T

Ingreso de los tríos de datos T, D, Imáx:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER


Trío	T (años)	Duración (min)	Imáx (mm/hr)
1	5.0	2.0	224.50755726
2	10.0	2.0	133.49299223
3	15.0	2.0	98.48952061
4	20.0	2.0	79.37540808
5	25.0	2.0	67.14342042
6	30.0	2.0	58.56221933
7	35.0	2.0	52.16839008
8	40.0	2.0	47.19690002
9	45.0	2.0	43.20649954
10	50.0	2.0	39.92371665
11	55.0	2.0	37.16947703
12	60.0	2.0	34.82130395
13	120.0	2.0	20.7048712
14	180.0	2.0	15.27580441

Calcular Imáx de diseño:

Período de retorno (T): años

Duración (D): min

Imáx: mm/hr



Ecuación de ajuste de Imáx:

Ecuación	R	R ²	Se
$Imáx = 867.1522 * T^{(-0.7500)} * D^{(0.1603)}$	0.9954	0.9908	13.8683

Archivos y resultados:

Figura 7.22: Ecuación de I_{max} para enero por Software HidroEsta.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE
AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

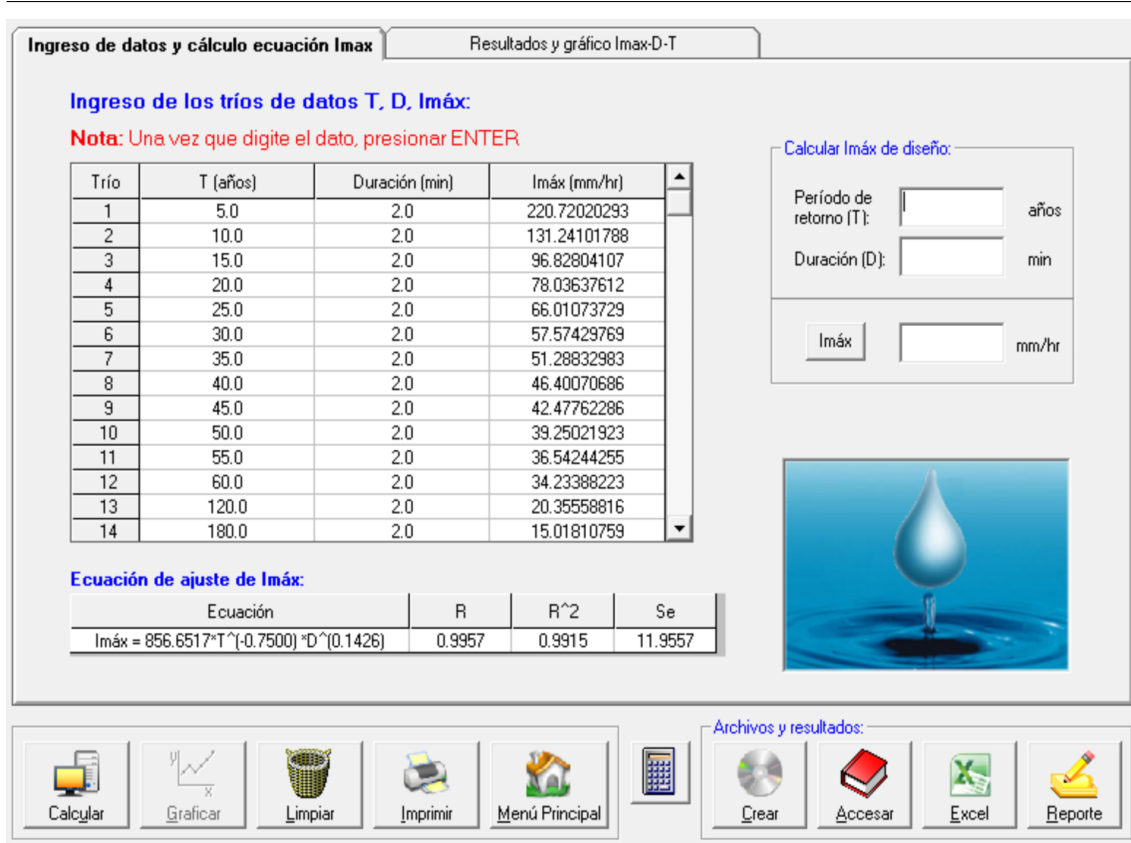


Figura 7.23: Ecuación de I_{max} para febrero por Software HydroEsta.

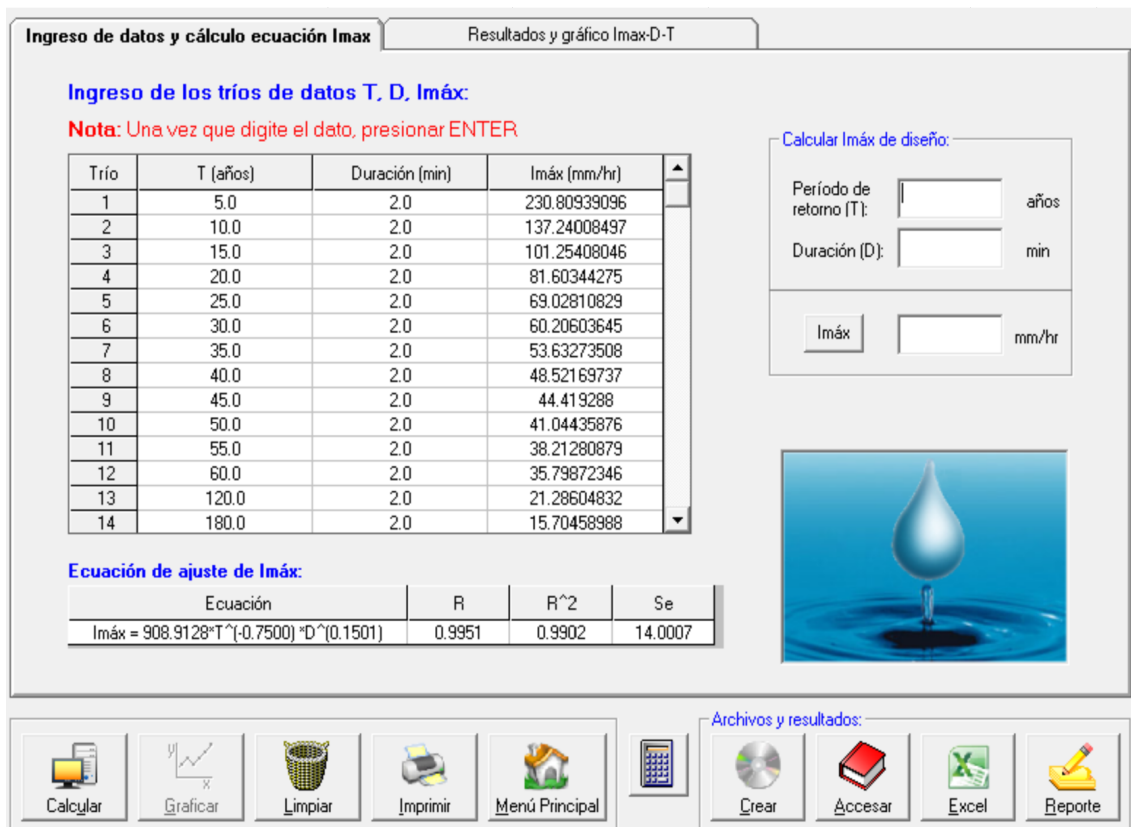


Figura 7.24: Ecuación de I_{max} para marzo por Software HydroEsta.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

Ingreso de datos y cálculo ecuación I_{max} Resultados y gráfico I_{max} -D-T


Ingreso de los tríos de datos T, D, $I_{máx}$:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Trío	T (años)	Duración (min)	$I_{máx}$ (mm/hr)
1	5.0	2.0	258.81691898
2	10.0	2.0	153.89346077
3	15.0	2.0	113.54074039
4	20.0	2.0	91.50559925
5	25.0	2.0	77.40431287
6	30.0	2.0	67.51172816
7	35.0	2.0	60.1407906
8	40.0	2.0	54.40955484
9	45.0	2.0	49.80933928
10	50.0	2.0	46.0248798
11	55.0	2.0	42.84973586
12	60.0	2.0	40.14271374
13	120.0	2.0	23.8690004
14	180.0	2.0	17.61026079

Calcular $I_{máx}$ de diseño:
 Período de retorno (T): años
 Duración (D): min
 mm/hr

Ecuación de ajuste de $I_{máx}$:

Ecuación	R	R ²	Se
$I_{máx} = 1033.2622 \cdot T^{-(0.7500)} \cdot D^{(0.1568)}$	0.9945	0.9890	17.3560



Archivos y resultados:

Figura 7.25: Ecuación de I_{max} para abril por Software HidroEsta.

Ingreso de datos y cálculo ecuación I_{max} Resultados y gráfico I_{max} -D-T


Ingreso de los tríos de datos T, D, $I_{máx}$:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Trío	T (años)	Duración (min)	$I_{máx}$ (mm/hr)
1	5.0	2.0	289.63188182
2	10.0	2.0	172.2161473
3	15.0	2.0	127.05899766
4	20.0	2.0	102.40033384
5	25.0	2.0	86.6201363
6	30.0	2.0	75.54973202
7	35.0	2.0	67.30120436
8	40.0	2.0	60.88760279
9	45.0	2.0	55.73968164
10	50.0	2.0	51.50464119
11	55.0	2.0	47.95146191
12	60.0	2.0	44.92213943
13	120.0	2.0	26.71086391
14	180.0	2.0	19.70695344

Calcular $I_{máx}$ de diseño:
 Período de retorno (T): años
 Duración (D): min
 mm/hr

Ecuación de ajuste de $I_{máx}$:

Ecuación	R	R ²	Se
$I_{máx} = 1028.1672 \cdot T^{-(0.7500)} \cdot D^{(0.1903)}$	0.9969	0.9938	17.3577



Archivos y resultados:

Figura 7.26: Ecuación de I_{max} para mayo por Software HidroEsta.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

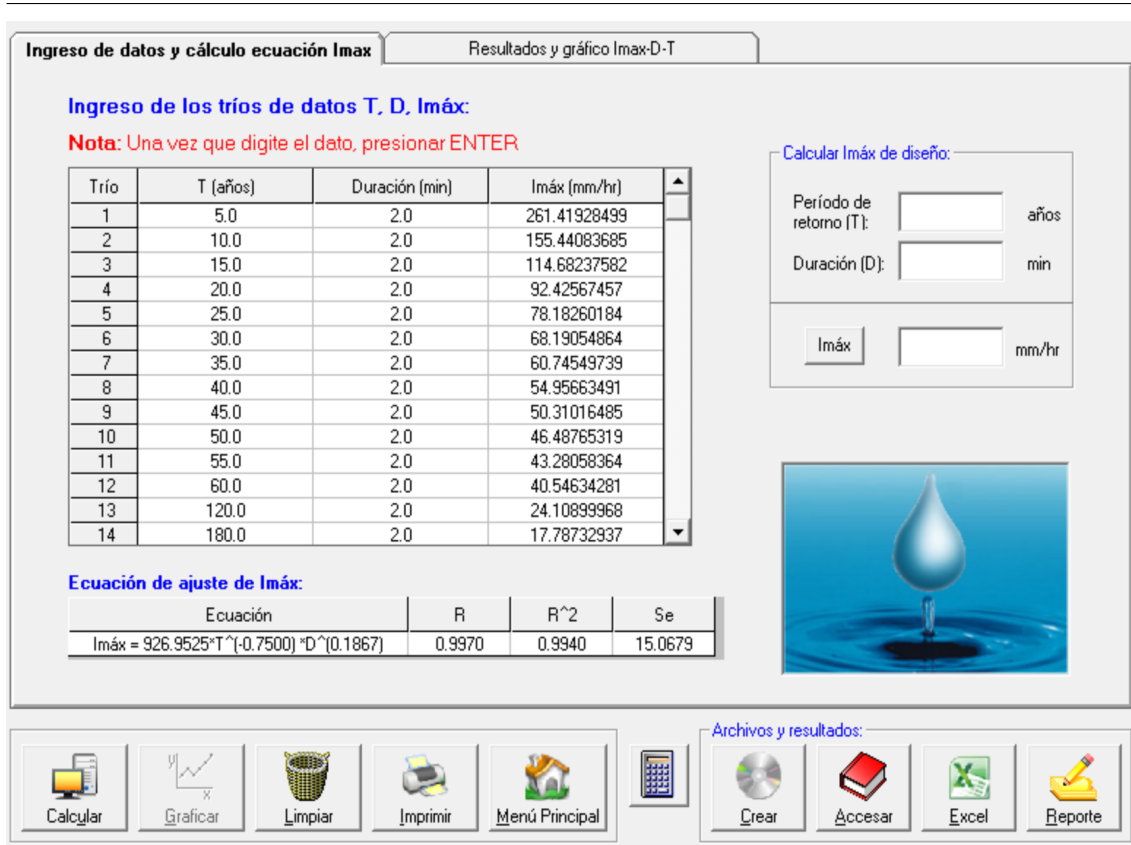


Figura 7.27: Ecuación de I_{max} para junio por Software HidroEsta.

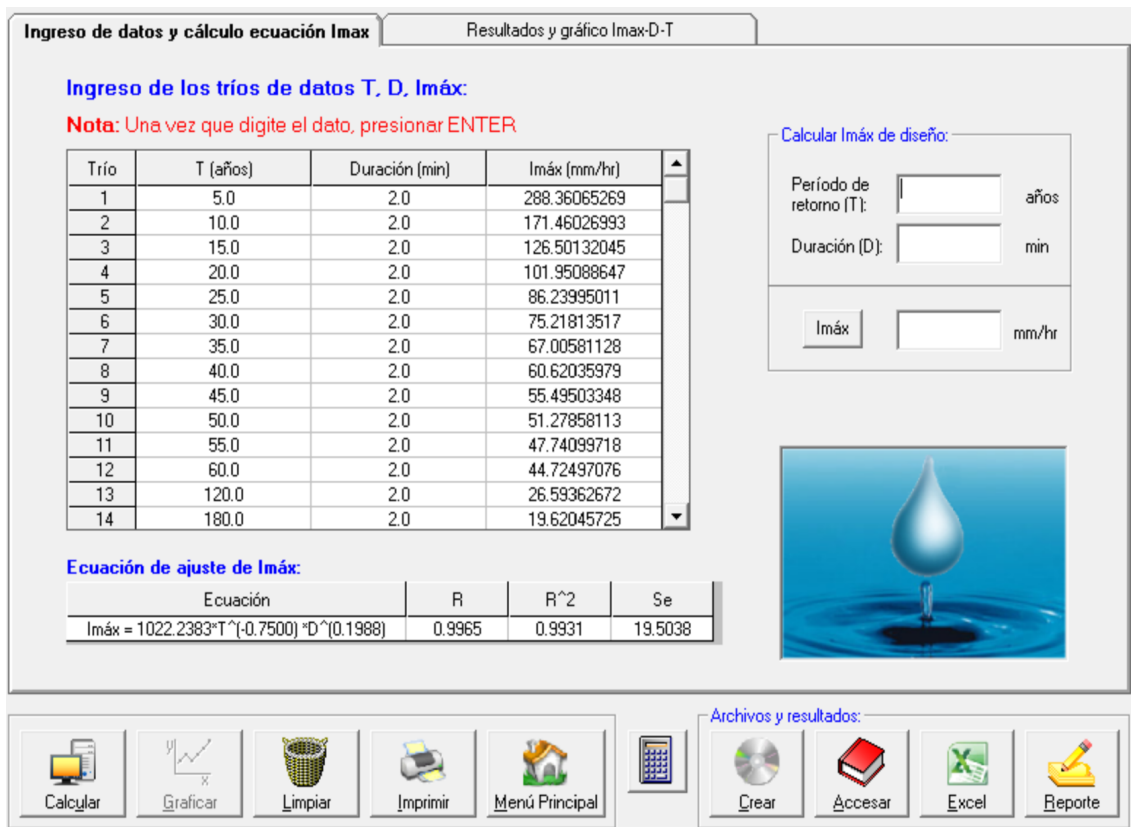


Figura 7.28: Ecuación de I_{max} para julio por Software HidroEsta.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

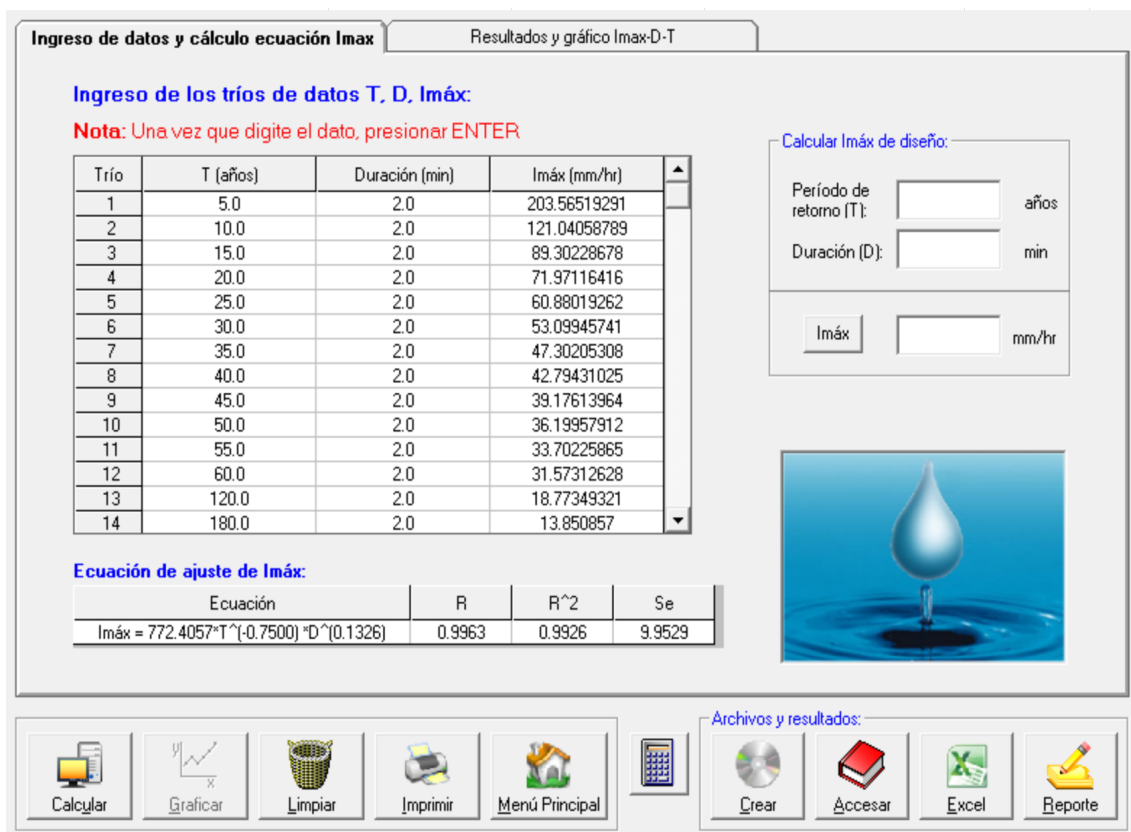


Figura 7.29: Ecuación de I_{max} para agosto por Software HydroEsta.

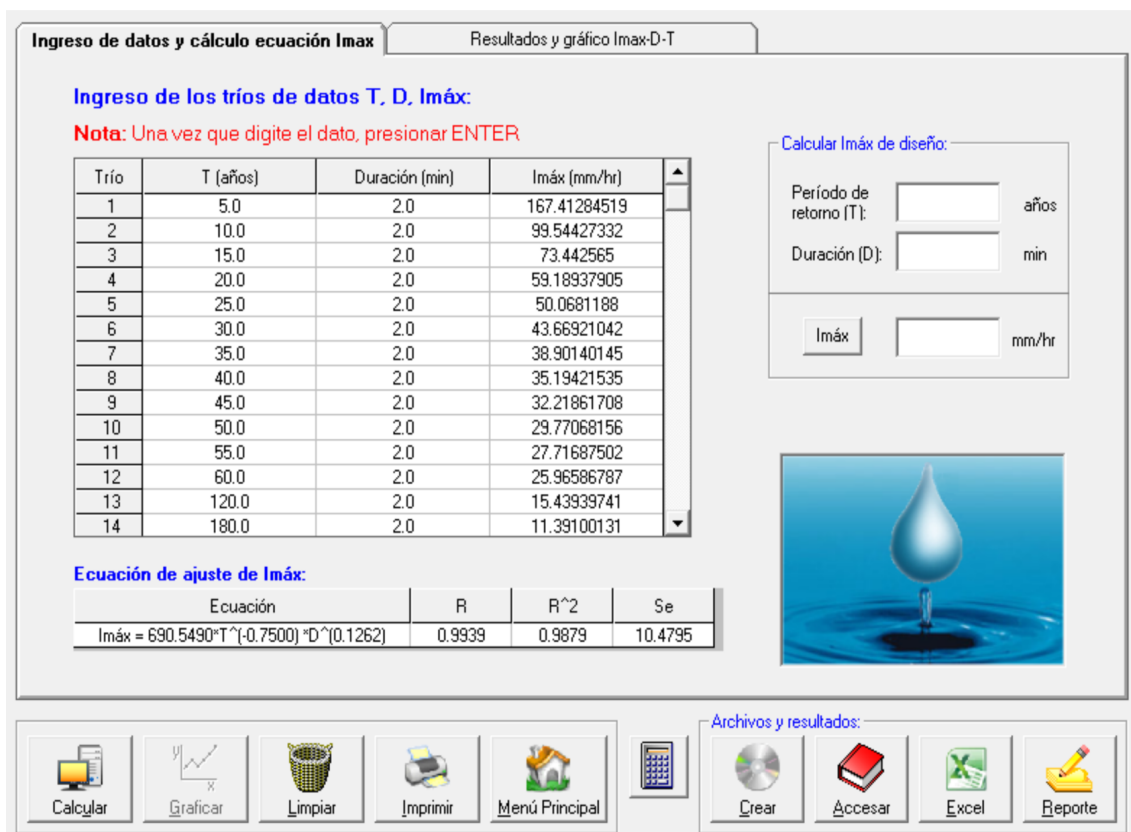


Figura 7.30: Ecuación de I_{max} para septiembre por Software HydroEsta.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE
AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

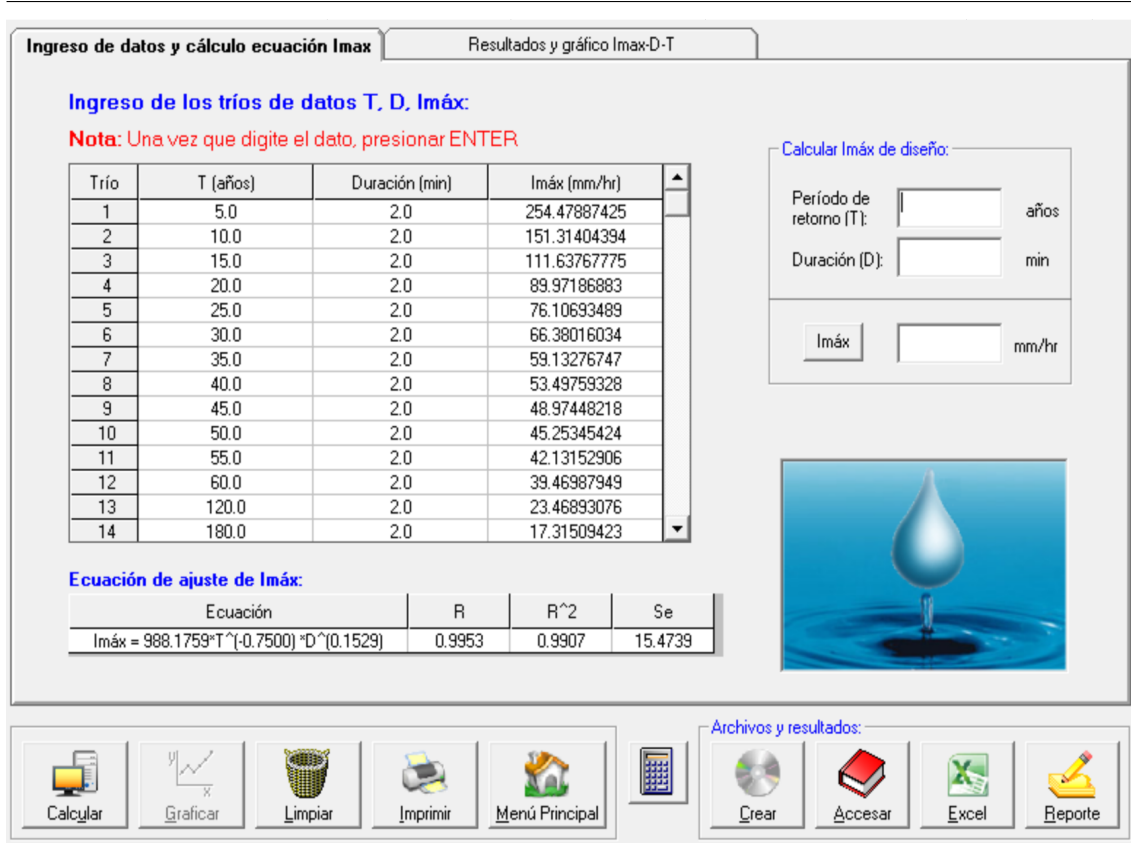


Figura 7.31: Ecuación de I_{max} para octubre por Software HidroEsta.

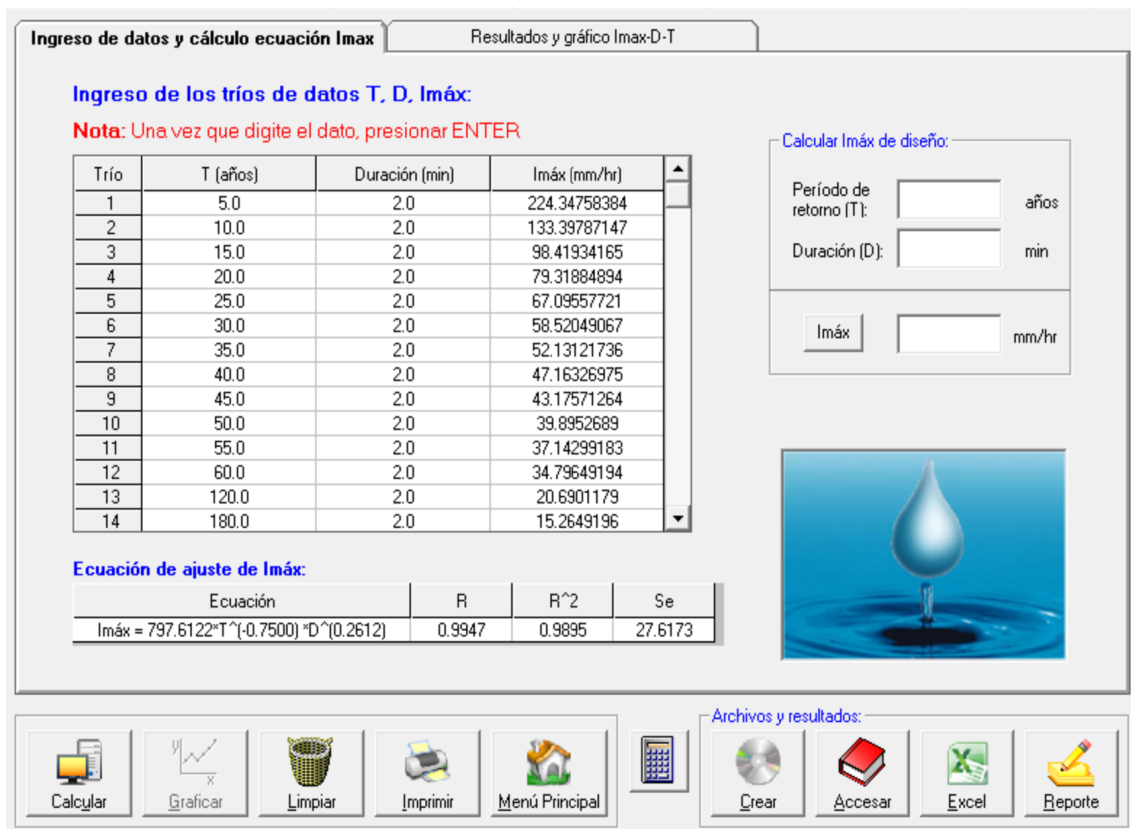


Figura 7.32: Ecuación de I_{max} para noviembre por Software HidroEsta.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE DE AGUA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”

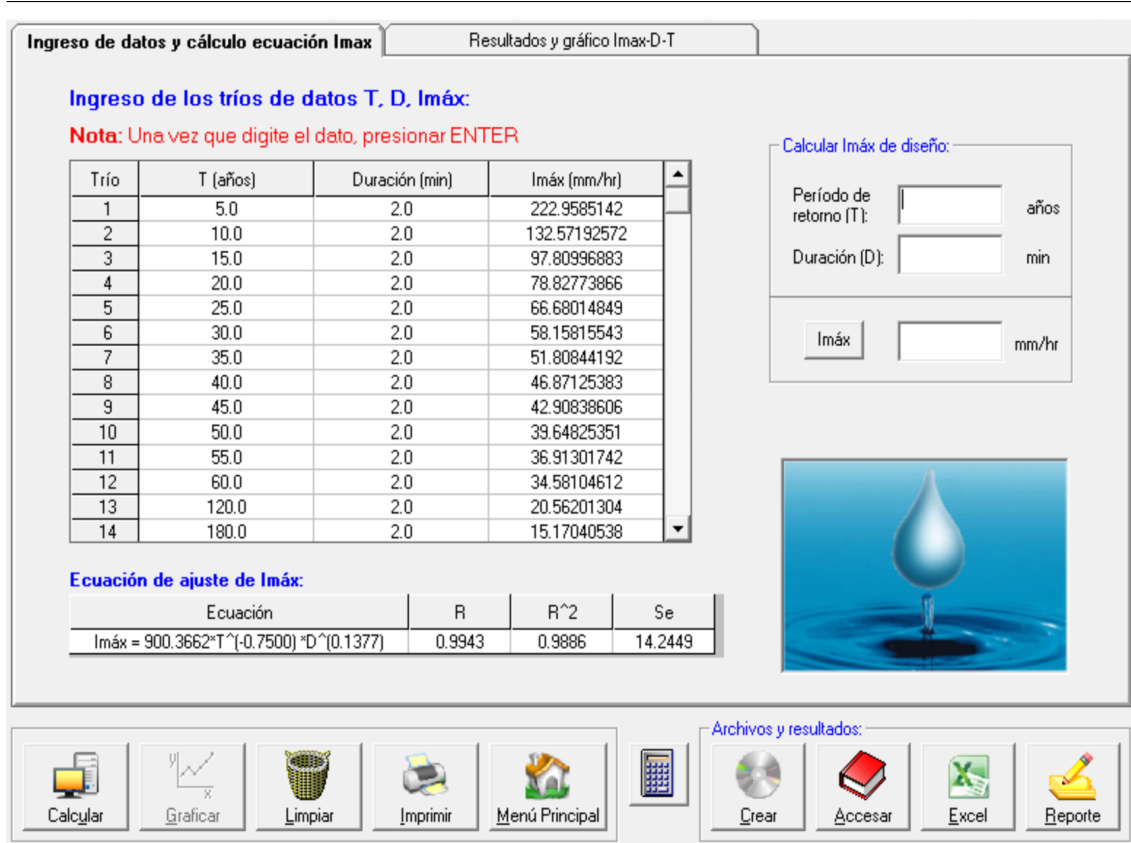
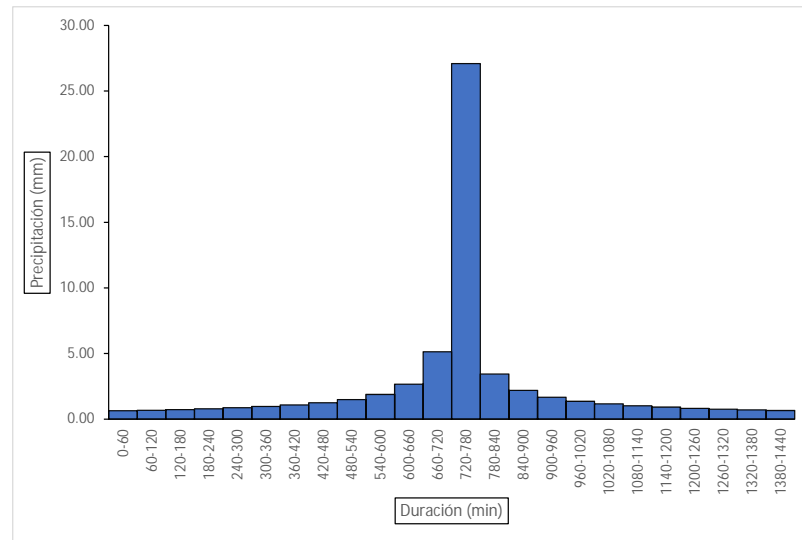


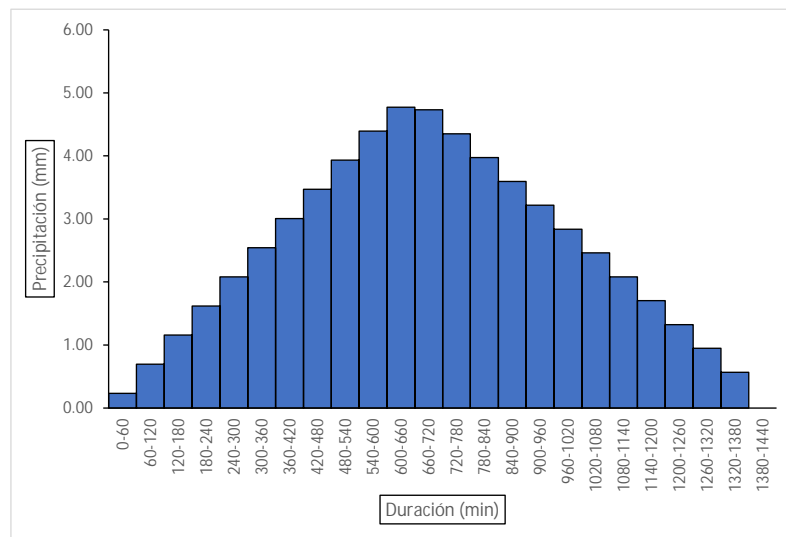
Figura 7.33: Ecuación de I_{max} para diciembre por Software HidroEsta.

Tormenta de diseño

En las siguientes figuras se expone los distintos hietogramas mensuales, a su vez en las tablas continuas se pueden apreciar los valores para la construcción de cada uno de estos.

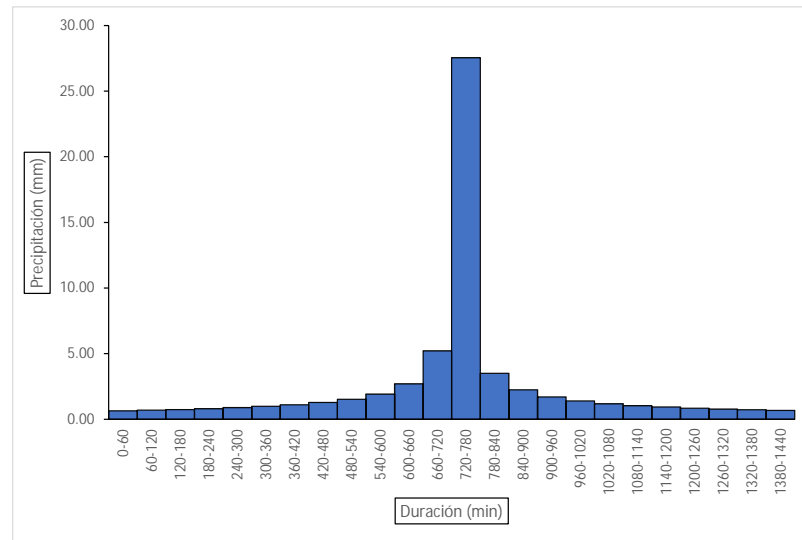


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

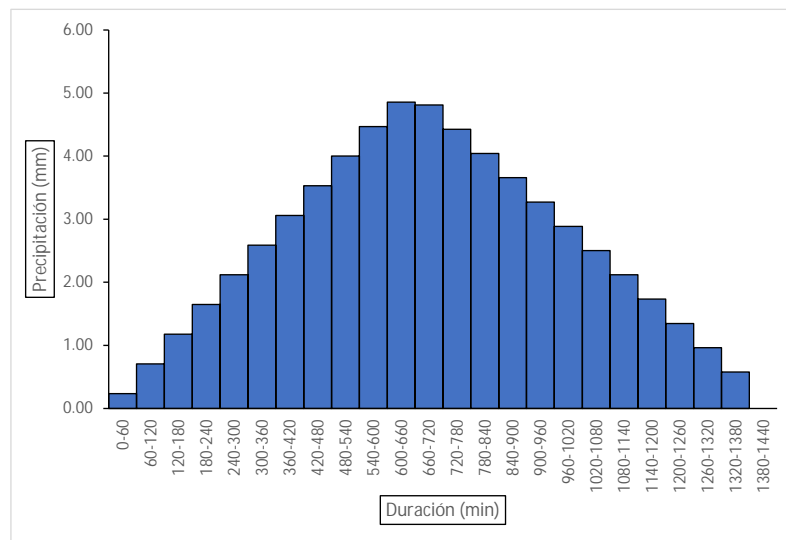


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.34: Tormenta de diseño para el mes de enero.

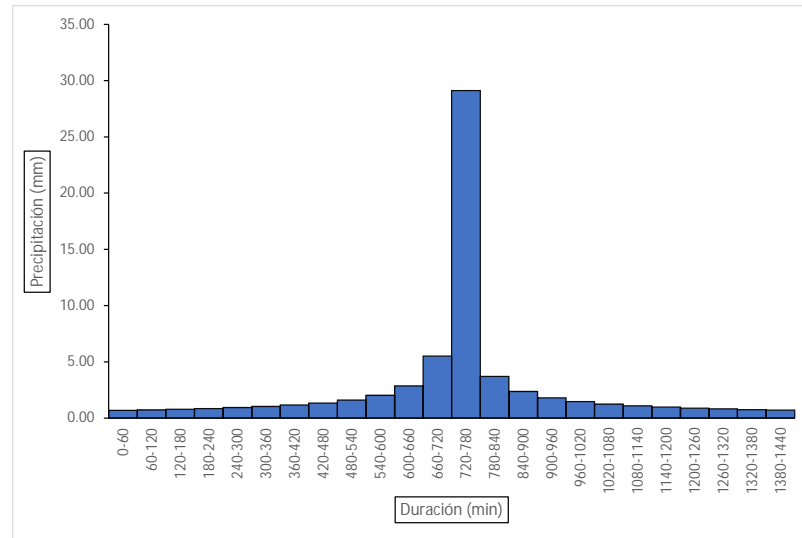


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

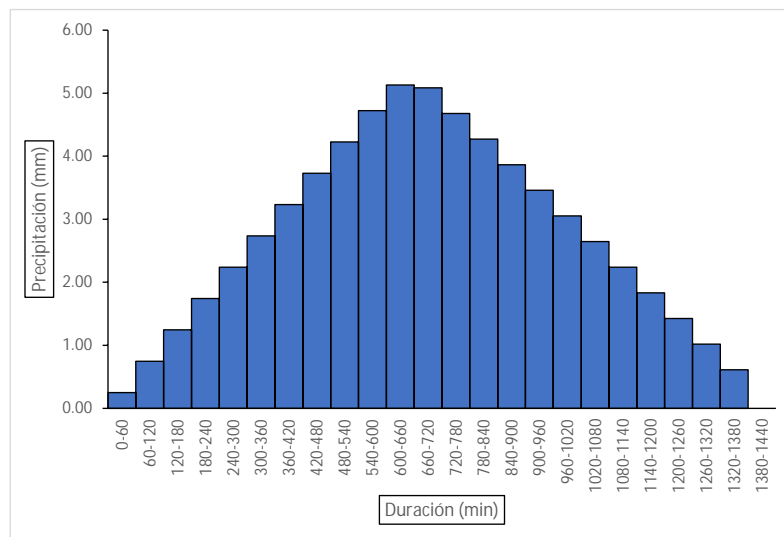


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.35: Tormenta de diseño para el mes de febrero.

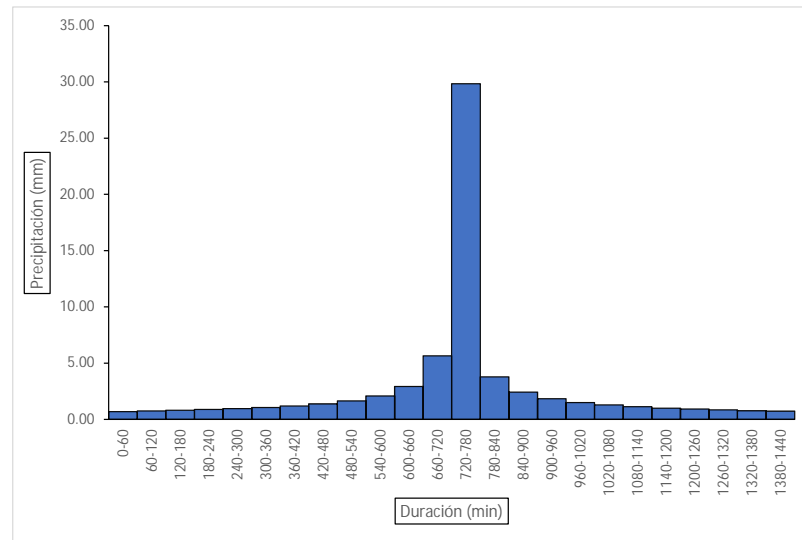


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

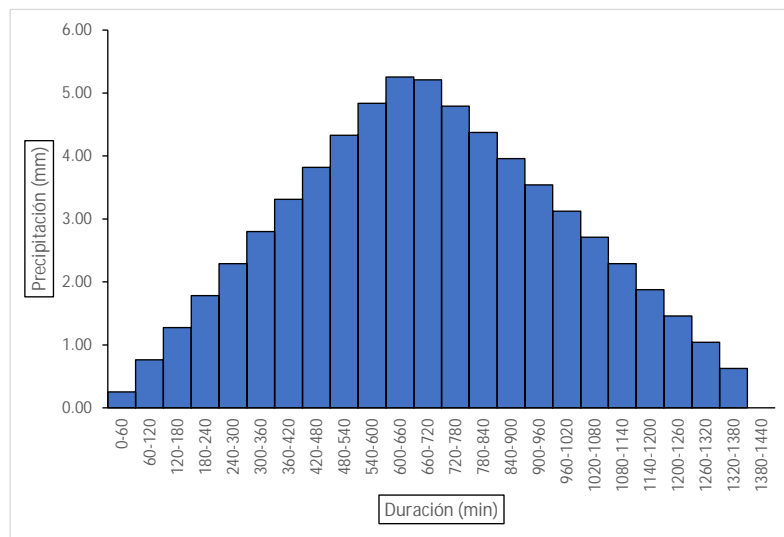


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.36: Tormenta de diseño para el mes de marzo.

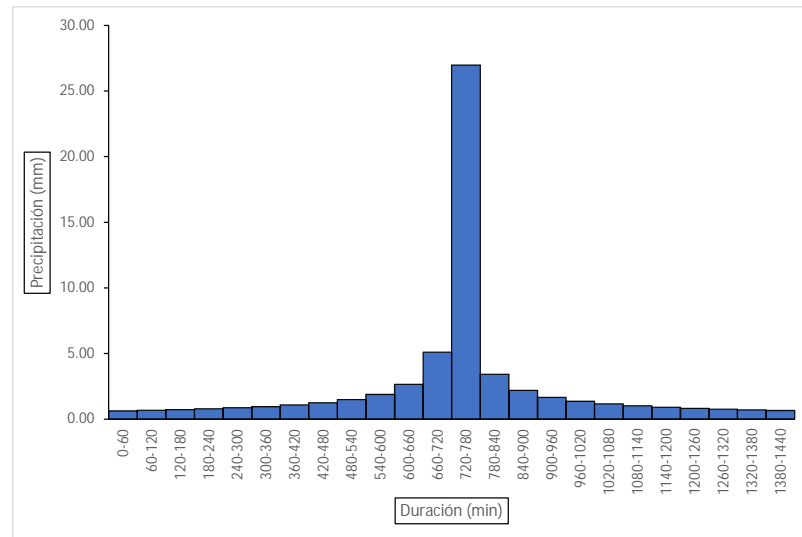


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

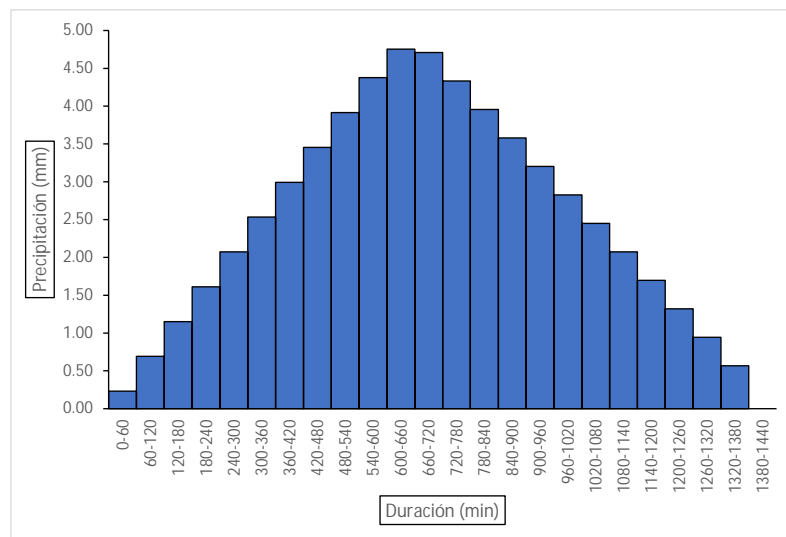


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.37: Tormenta de diseño para el mes de mayo.

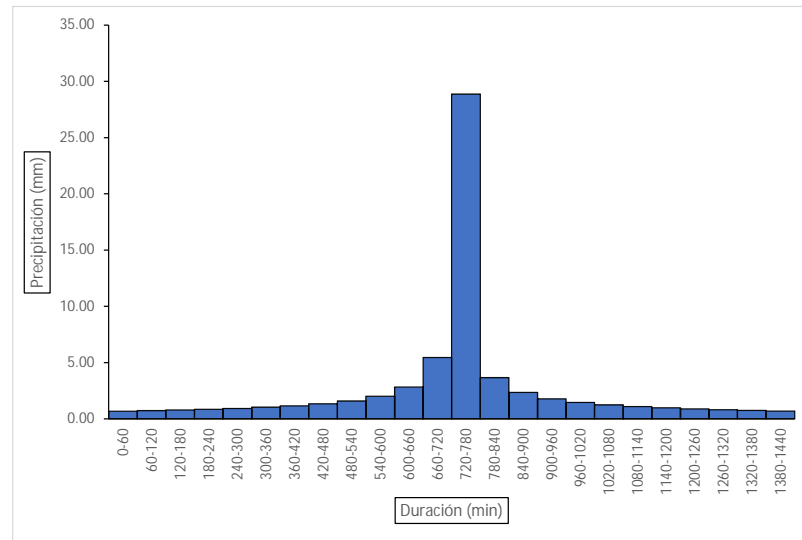


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

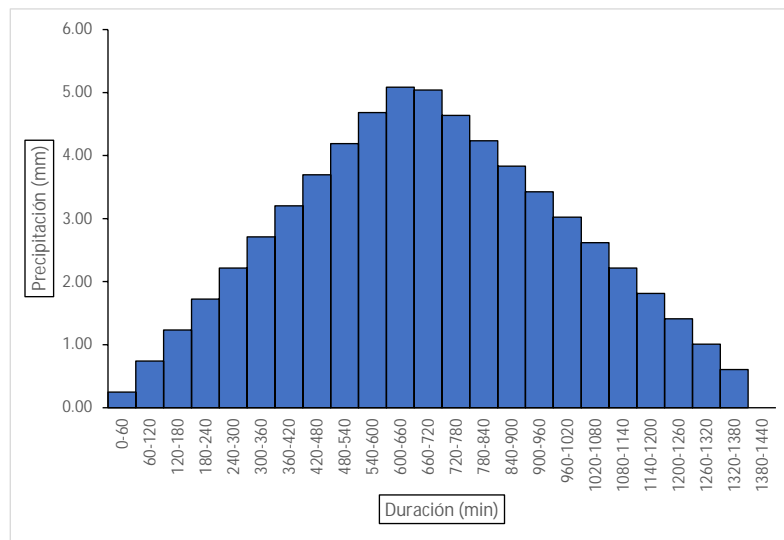


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.38: Tormenta de diseño para el mes de junio.

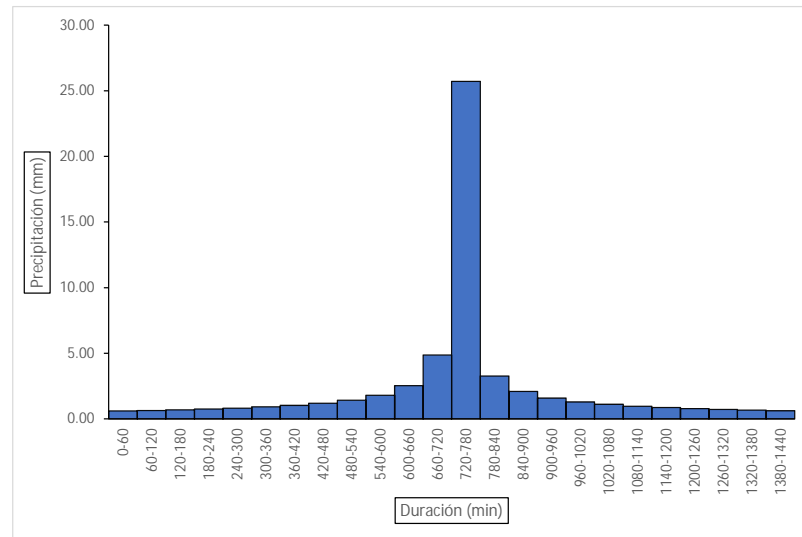


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

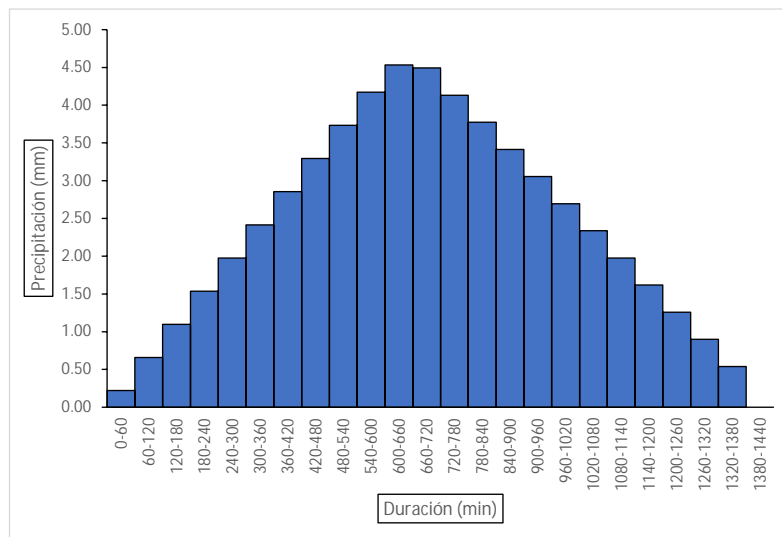


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.39: Tormenta de diseño para el mes de julio.

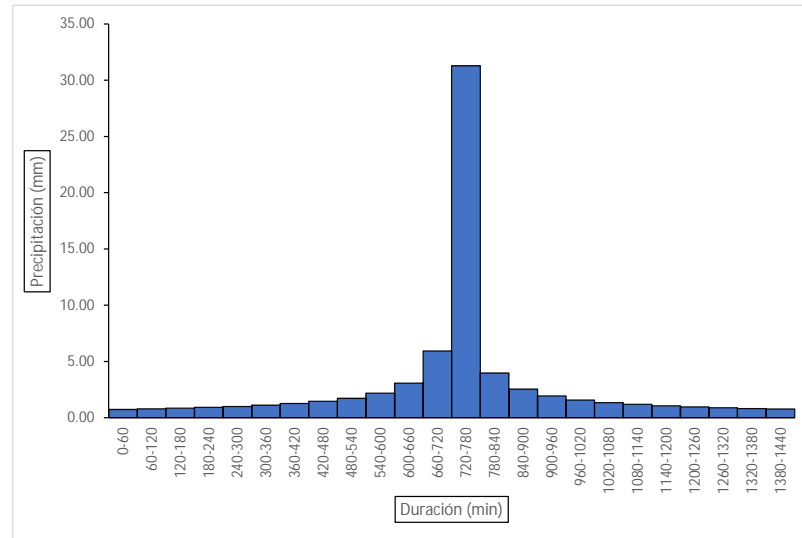


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

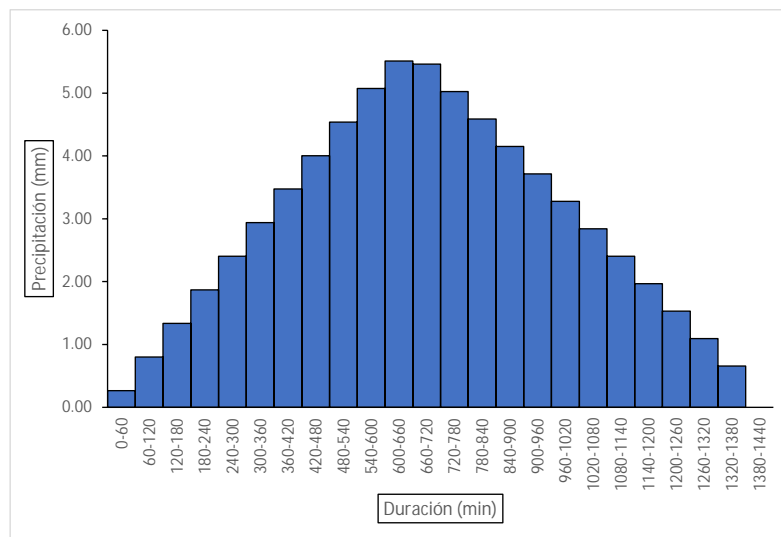


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.40: Tormenta de diseño para el mes de agosto.

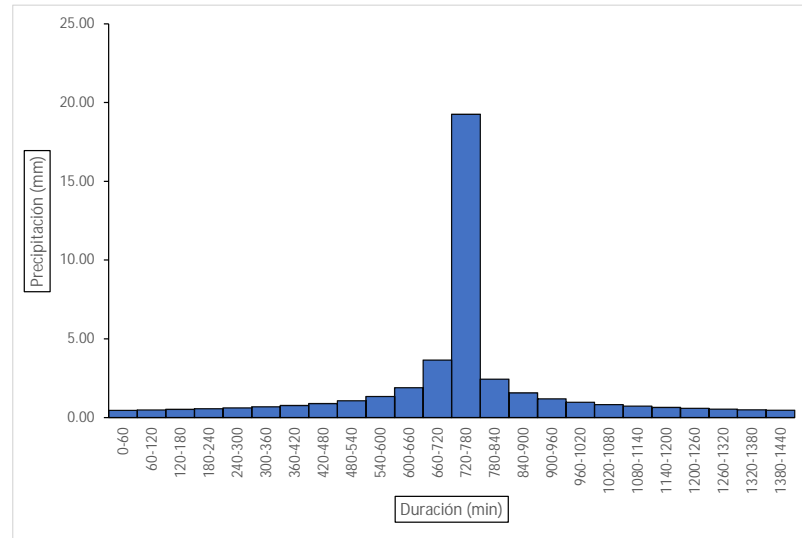


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

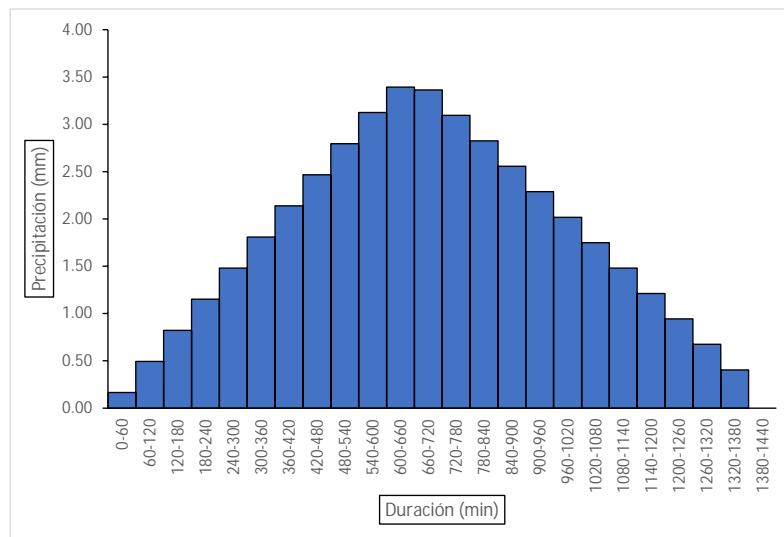


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.41: Tormenta de diseño para el mes de octubre.

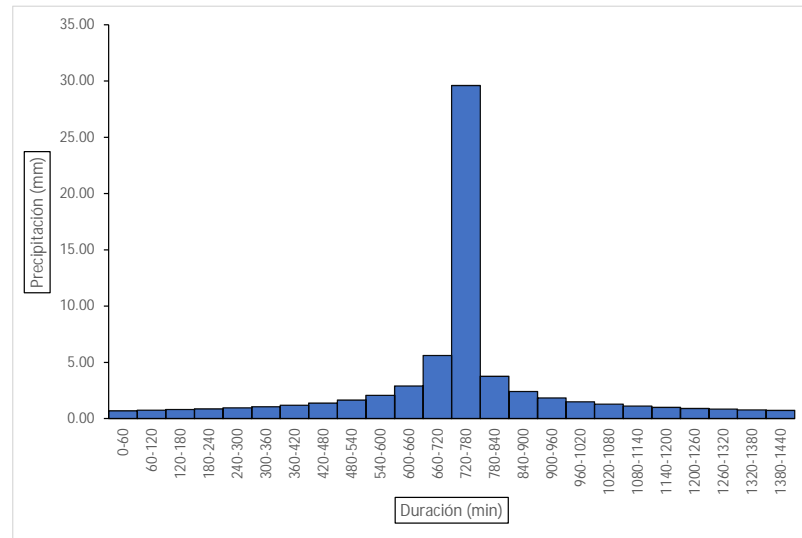


(a) Hietograma por el método de bloques alternos.

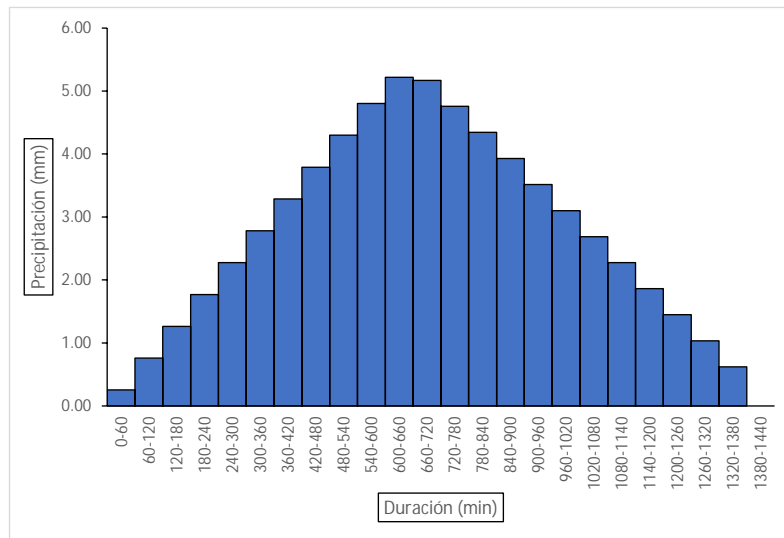


(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.42: Tormenta de diseño para el mes de noviembre.



(a) Hietograma por el método de bloques alternos.



(b) Hietograma por el método triangular.

Figura 7.43: Tormenta de diseño para el mes de diciembre.

Tabla 7.60: Datos del hietograma de bloques alternos para enero.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	27.09	27.09	0.63
120	2	16.11	5.13	0.68
180	3	11.88	3.44	0.73
240	4	9.58	2.66	0.79
300	5	8.10	2.20	0.87
360	6	7.07	1.89	0.96
420	7	6.29	1.67	1.08
480	8	5.70	1.50	1.25
540	9	5.21	1.36	1.50
600	10	4.82	1.25	1.89
660	11	4.49	1.16	2.66
720	12	4.20	1.08	5.13
780	13	3.96	1.02	27.09
840	14	3.74	0.96	3.44
900	15	3.55	0.91	2.20
960	16	3.39	0.87	1.67
1020	17	3.24	0.83	1.36
1080	18	3.10	0.79	1.16
1140	19	2.98	0.76	1.02
1200	20	2.86	0.73	0.91
1260	21	2.76	0.70	0.83
1320	22	2.67	0.68	0.76
1380	23	2.58	0.66	0.70
1440	24	2.50	0.63	0.66

Tabla 7.61: Datos del hietograma triangular para enero.

Tiempo		Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	27.09	11.10	5.55	0.23
120	2	16.11	22.21	16.66	0.69
180	3	11.88	33.31	27.76	1.16
240	4	9.58	44.42	38.86	1.62
300	5	8.10	55.52	49.97	2.08
360	6	7.07	66.62	61.07	2.54
420	7	6.29	77.73	72.17	3.01
480	8	5.70	88.83	83.28	3.47
540	9	5.21	99.93	94.38	3.93
600	10	4.82	111.04	105.49	4.40
660	11	4.49	118.10	114.57	4.77
720	12	4.20	109.02	113.56	4.73
780	13	3.96	99.93	104.48	4.35
840	14	3.74	90.85	95.39	3.97
900	15	3.55	81.76	86.31	3.60
960	16	3.39	72.68	77.22	3.22
1020	17	3.24	63.59	68.14	2.84
1080	18	3.10	54.51	59.05	2.46
1140	19	2.98	45.42	49.97	2.08
1200	20	2.86	36.34	40.88	1.70
1260	21	2.76	27.25	31.80	1.32
1320	22	2.67	18.17	22.71	0.95
1380	23	2.58	9.08	13.63	0.57
1440	24	2.50	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.62: Datos del hietograma de bloques alternos para febrero.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	27.55	27.55	0.65
120	2	16.38	5.21	0.69
180	3	12.09	3.50	0.74
240	4	9.74	2.70	0.81
300	5	8.24	2.24	0.88
360	6	7.19	1.92	0.98
420	7	6.40	1.69	1.10
480	8	5.79	1.52	1.27
540	9	5.30	1.38	1.52
600	10	4.90	1.27	1.92
660	11	4.56	1.18	2.70
720	12	4.27	1.10	5.21
780	13	4.02	1.04	27.55
840	14	3.81	0.98	3.50
900	15	3.62	0.93	2.24
960	16	3.44	0.88	1.69
1020	17	3.29	0.84	1.38
1080	18	3.15	0.81	1.18
1140	19	3.03	0.77	1.04
1200	20	2.91	0.74	0.93
1260	21	2.81	0.72	0.84
1320	22	2.71	0.69	0.77
1380	23	2.62	0.67	0.72
1440	24	2.54	0.65	0.67

Tabla 7.63: Datos del hietograma triangular para febrero.

Tiempo		Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	27.55	11.29	5.65	0.24
120	2	16.38	22.59	16.94	0.71
180	3	12.09	33.88	28.24	1.18
240	4	9.74	45.18	39.53	1.65
300	5	8.24	56.47	50.82	2.12
360	6	7.19	67.76	62.12	2.59
420	7	6.40	79.06	73.41	3.06
480	8	5.79	90.35	84.71	3.53
540	9	5.30	101.65	96.00	4.00
600	10	4.90	112.94	107.29	4.47
660	11	4.56	120.13	116.53	4.86
720	12	4.27	110.89	115.51	4.81
780	13	4.02	101.65	106.27	4.43
840	14	3.81	92.41	97.03	4.04
900	15	3.62	83.17	87.79	3.66
960	16	3.44	73.93	78.55	3.27
1020	17	3.29	64.68	69.30	2.89
1080	18	3.15	55.44	60.06	2.50
1140	19	3.03	46.20	50.82	2.12
1200	20	2.91	36.96	41.58	1.73
1260	21	2.81	27.72	32.34	1.35
1320	22	2.71	18.48	23.10	0.96
1380	23	2.62	9.24	13.86	0.58
1440	24	2.54	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.64: Datos del hietograma de bloques alternos para marzo.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	29.12	29.12	0.68
120	2	17.31	5.51	0.73
180	3	12.77	3.69	0.78
240	4	10.30	2.86	0.85
300	5	8.71	2.36	0.93
360	6	7.60	2.03	1.03
420	7	6.77	1.79	1.17
480	8	6.12	1.61	1.35
540	9	5.60	1.46	1.61
600	10	5.18	1.35	2.03
660	11	4.82	1.25	2.86
720	12	4.52	1.17	5.51
780	13	4.25	1.10	29.12
840	14	4.02	1.03	3.69
900	15	3.82	0.98	2.36
960	16	3.64	0.93	1.79
1020	17	3.48	0.89	1.46
1080	18	3.33	0.85	1.25
1140	19	3.20	0.82	1.10
1200	20	3.08	0.78	0.98
1260	21	2.97	0.76	0.89
1320	22	2.87	0.73	0.82
1380	23	2.77	0.70	0.76
1440	24	2.69	0.68	0.70

Tabla 7.65: Datos del hietograma triangular para marzo.

Tiempo	Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación	
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	
60	1	29.12	11.94	5.97	0.25
120	2	17.31	23.87	17.90	0.75
180	3	12.77	35.81	29.84	1.24
240	4	10.30	47.74	41.77	1.74
300	5	8.71	59.68	53.71	2.24
360	6	7.60	71.61	65.64	2.74
420	7	6.77	83.55	77.58	3.23
480	8	6.12	95.48	89.52	3.73
540	9	5.60	107.42	101.45	4.23
600	10	5.18	119.35	113.39	4.72
660	11	4.82	126.95	123.15	5.13
720	12	4.52	117.18	122.07	5.09
780	13	4.25	107.42	112.30	4.68
840	14	4.02	97.65	102.54	4.27
900	15	3.82	87.89	92.77	3.87
960	16	3.64	78.12	83.01	3.46
1020	17	3.48	68.36	73.24	3.05
1080	18	3.33	58.59	63.47	2.64
1140	19	3.20	48.83	53.71	2.24
1200	20	3.08	39.06	43.94	1.83
1260	21	2.97	29.30	34.18	1.42
1320	22	2.87	19.53	24.41	1.02
1380	23	2.77	9.77	14.65	0.61
1440	24	2.69	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.66: Datos del hietograma de bloques alternos para abril.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	32.39	32.39	0.76
120	2	19.26	6.13	0.81
180	3	14.21	4.11	0.87
240	4	11.45	3.18	0.95
300	5	9.69	2.63	1.04
360	6	8.45	2.26	1.15
420	7	7.53	1.99	1.30
480	8	6.81	1.79	1.50
540	9	6.23	1.63	1.79
600	10	5.76	1.50	2.26
660	11	5.36	1.39	3.18
720	12	5.02	1.30	6.13
780	13	4.73	1.22	32.39
840	14	4.48	1.15	4.11
900	15	4.25	1.09	2.63
960	16	4.05	1.04	1.99
1020	17	3.87	0.99	1.63
1080	18	3.71	0.95	1.39
1140	19	3.56	0.91	1.22
1200	20	3.42	0.87	1.09
1260	21	3.30	0.84	0.99
1320	22	3.19	0.81	0.91
1380	23	3.08	0.78	0.84
1440	24	2.99	0.76	0.78

Tabla 7.67: Datos del hietograma triangular para abril.

Tiempo		Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	32.39	13.28	6.64	0.28
120	2	19.26	26.55	19.91	0.83
180	3	14.21	39.83	33.19	1.38
240	4	11.45	53.10	46.47	1.94
300	5	9.69	66.38	59.74	2.49
360	6	8.45	79.66	73.02	3.04
420	7	7.53	92.93	86.29	3.60
480	8	6.81	106.21	99.57	4.15
540	9	6.23	119.48	112.85	4.70
600	10	5.76	132.76	126.12	5.26
660	11	5.36	141.21	136.98	5.71
720	12	5.02	130.35	135.78	5.66
780	13	4.73	119.48	124.92	5.20
840	14	4.48	108.62	114.05	4.75
900	15	4.25	97.76	103.19	4.30
960	16	4.05	86.90	92.33	3.85
1020	17	3.87	76.04	81.47	3.39
1080	18	3.71	65.17	70.60	2.94
1140	19	3.56	54.31	59.74	2.49
1200	20	3.42	43.45	48.88	2.04
1260	21	3.30	32.59	38.02	1.58
1320	22	3.19	21.72	27.16	1.13
1380	23	3.08	10.86	16.29	0.68
1440	24	2.99	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.68: Datos del hietograma de bloques alternos para mayo.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	29.83	29.83	0.70
120	2	17.74	5.64	0.75
180	3	13.09	3.78	0.80
240	4	10.55	2.93	0.87
300	5	8.92	2.42	0.95
360	6	7.78	2.08	1.06
420	7	6.93	1.83	1.19
480	8	6.27	1.65	1.38
540	9	5.74	1.50	1.65
600	10	5.30	1.38	2.08
660	11	4.94	1.28	2.93
720	12	4.63	1.19	5.64
780	13	4.36	1.12	29.83
840	14	4.12	1.06	3.78
900	15	3.91	1.00	2.42
960	16	3.73	0.95	1.83
1020	17	3.56	0.91	1.50
1080	18	3.41	0.87	1.28
1140	19	3.28	0.84	1.12
1200	20	3.15	0.80	1.00
1260	21	3.04	0.77	0.91
1320	22	2.94	0.75	0.84
1380	23	2.84	0.72	0.77
1440	24	2.75	0.70	0.72

Tabla 7.69: Datos del hietograma triangular para mayo.

Tiempo		Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	29.83	12.23	6.11	0.25
120	2	17.74	24.45	18.34	0.76
180	3	13.09	36.68	30.57	1.27
240	4	10.55	48.90	42.79	1.78
300	5	8.92	61.13	55.02	2.29
360	6	7.78	73.36	67.24	2.80
420	7	6.93	85.58	79.47	3.31
480	8	6.27	97.81	91.70	3.82
540	9	5.74	110.03	103.92	4.33
600	10	5.30	122.26	116.15	4.84
660	11	4.94	130.04	126.15	5.26
720	12	4.63	120.04	125.04	5.21
780	13	4.36	110.03	115.04	4.79
840	14	4.12	100.03	105.03	4.38
900	15	3.91	90.03	95.03	3.96
960	16	3.73	80.03	85.03	3.54
1020	17	3.56	70.02	75.02	3.13
1080	18	3.41	60.02	65.02	2.71
1140	19	3.28	50.02	55.02	2.29
1200	20	3.15	40.01	45.01	1.88
1260	21	3.04	30.01	35.01	1.46
1320	22	2.94	20.01	25.01	1.04
1380	23	2.84	10.00	15.00	0.63
1440	24	2.75	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.70: Datos del hietograma de bloques alternos para junio.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	26.97	26.97	0.63
120	2	16.04	5.10	0.68
180	3	11.83	3.42	0.73
240	4	9.53	2.65	0.79
300	5	8.07	2.19	0.86
360	6	7.03	1.88	0.96
420	7	6.27	1.66	1.08
480	8	5.67	1.49	1.25
540	9	5.19	1.36	1.49
600	10	4.80	1.25	1.88
660	11	4.46	1.16	2.65
720	12	4.18	1.08	5.10
780	13	3.94	1.01	26.97
840	14	3.73	0.96	3.42
900	15	3.54	0.91	2.19
960	16	3.37	0.86	1.66
1020	17	3.22	0.82	1.36
1080	18	3.09	0.79	1.16
1140	19	2.96	0.76	1.01
1200	20	2.85	0.73	0.91
1260	21	2.75	0.70	0.82
1320	22	2.65	0.68	0.76
1380	23	2.57	0.65	0.70
1440	24	2.49	0.63	0.65

Tabla 7.71: Datos del hietograma triangular para junio.

Tiempo	Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	26.97	11.05	5.53
120	2	16.04	22.11	16.58
180	3	11.83	33.16	27.63
240	4	9.53	44.22	38.69
300	5	8.07	55.27	49.74
360	6	7.03	66.32	60.80
420	7	6.27	77.38	71.85
480	8	5.67	88.43	82.90
540	9	5.19	99.49	93.96
600	10	4.80	110.54	105.01
660	11	4.46	117.57	114.06
720	12	4.18	108.53	113.05
780	13	3.94	99.49	104.01
840	14	3.73	90.44	94.96
900	15	3.54	81.40	85.92
960	16	3.37	72.35	76.88
1020	17	3.22	63.31	67.83
1080	18	3.09	54.26	58.79
1140	19	2.96	45.22	49.74
1200	20	2.85	36.18	40.70
1260	21	2.75	27.13	31.65
1320	22	2.65	18.09	22.61
1380	23	2.57	9.04	13.57
1440	24	2.49	0.00	0.00

Tabla 7.72: Datos del hietograma de bloques alternos para julio.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	28.86	28.86	0.68
120	2	17.16	5.46	0.72
180	3	12.66	3.66	0.78
240	4	10.20	2.83	0.84
300	5	8.63	2.34	0.92
360	6	7.53	2.01	1.02
420	7	6.71	1.77	1.16
480	8	6.07	1.59	1.33
540	9	5.55	1.45	1.59
600	10	5.13	1.33	2.01
660	11	4.78	1.24	2.83
720	12	4.48	1.16	5.46
780	13	4.21	1.09	28.86
840	14	3.99	1.02	3.66
900	15	3.79	0.97	2.34
960	16	3.61	0.92	1.77
1020	17	3.45	0.88	1.45
1080	18	3.30	0.84	1.24
1140	19	3.17	0.81	1.09
1200	20	3.05	0.78	0.97
1260	21	2.94	0.75	0.88
1320	22	2.84	0.72	0.81
1380	23	2.75	0.70	0.75
1440	24	2.66	0.68	0.70

Tabla 7.73: Datos del hietograma triangular para julio.

Tiempo	Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	28.86	11.83	5.91
120	2	17.16	23.66	17.74
180	3	12.66	35.48	29.57
240	4	10.20	47.31	41.40
300	5	8.63	59.14	53.23
360	6	7.53	70.97	65.05
420	7	6.71	82.79	76.88
480	8	6.07	94.62	88.71
540	9	5.55	106.45	100.54
600	10	5.13	118.28	112.36
660	11	4.78	125.81	122.04
720	12	4.48	116.13	120.97
780	13	4.21	106.45	111.29
840	14	3.99	96.77	101.61
900	15	3.79	87.10	91.93
960	16	3.61	77.42	82.26
1020	17	3.45	67.74	72.58
1080	18	3.30	58.06	62.90
1140	19	3.17	48.39	53.23
1200	20	3.05	38.71	43.55
1260	21	2.94	29.03	33.87
1320	22	2.84	19.35	24.19
1380	23	2.75	9.68	14.52
1440	24	2.66	0.00	0.00

Tabla 7.74: Datos del hietograma de bloques alternos para agosto.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	25.72	25.72	0.60
120	2	15.29	4.87	0.64
180	3	11.28	3.26	0.69
240	4	9.09	2.52	0.75
300	5	7.69	2.09	0.82
360	6	6.71	1.79	0.91
420	7	5.98	1.58	1.03
480	8	5.41	1.42	1.19
540	9	4.95	1.29	1.42
600	10	4.57	1.19	1.79
660	11	4.26	1.10	2.52
720	12	3.99	1.03	4.87
780	13	3.76	0.97	25.72
840	14	3.55	0.91	3.26
900	15	3.37	0.87	2.09
960	16	3.22	0.82	1.58
1020	17	3.07	0.79	1.29
1080	18	2.94	0.75	1.10
1140	19	2.83	0.72	0.97
1200	20	2.72	0.69	0.87
1260	21	2.62	0.67	0.79
1320	22	2.53	0.64	0.72
1380	23	2.45	0.62	0.67
1440	24	2.37	0.60	0.62

Tabla 7.75: Datos del hietograma triangular para agosto.

Tiempo		Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	25.72	10.54	5.27	0.22
120	2	15.29	21.09	15.81	0.66
180	3	11.28	31.63	26.36	1.10
240	4	9.09	42.17	36.90	1.54
300	5	7.69	52.72	47.44	1.98
360	6	6.71	63.26	57.99	2.42
420	7	5.98	73.80	68.53	2.86
480	8	5.41	84.35	79.07	3.29
540	9	4.95	94.89	89.62	3.73
600	10	4.57	105.43	100.16	4.17
660	11	4.26	112.14	108.79	4.53
720	12	3.99	103.52	107.83	4.49
780	13	3.76	94.89	99.20	4.13
840	14	3.55	86.26	90.58	3.77
900	15	3.37	77.64	81.95	3.41
960	16	3.22	69.01	73.32	3.06
1020	17	3.07	60.38	64.70	2.70
1080	18	2.94	51.76	56.07	2.34
1140	19	2.83	43.13	47.44	1.98
1200	20	2.72	34.51	38.82	1.62
1260	21	2.62	25.88	30.19	1.26
1320	22	2.53	17.25	21.57	0.90
1380	23	2.45	8.63	12.94	0.54
1440	24	2.37	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.76: Datos del hietograma de bloques alternos para septiembre.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	23.37	23.37	0.55
120	2	13.89	4.42	0.59
180	3	10.25	2.96	0.63
240	4	8.26	2.29	0.68
300	5	6.99	1.90	0.75
360	6	6.10	1.63	0.83
420	7	5.43	1.44	0.94
480	8	4.91	1.29	1.08
540	9	4.50	1.17	1.29
600	10	4.16	1.08	1.63
660	11	3.87	1.00	2.29
720	12	3.62	0.94	4.42
780	13	3.41	0.88	23.37
840	14	3.23	0.83	2.96
900	15	3.07	0.79	1.90
960	16	2.92	0.75	1.44
1020	17	2.79	0.71	1.17
1080	18	2.67	0.68	1.00
1140	19	2.57	0.66	0.88
1200	20	2.47	0.63	0.79
1260	21	2.38	0.61	0.71
1320	22	2.30	0.59	0.66
1380	23	2.23	0.57	0.61
1440	24	2.16	0.55	0.57

Tabla 7.77: Datos del hietograma triangular para septiembre.

Tiempo	Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación	
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	
60	1	23.37	9.58	4.79	0.20
120	2	13.89	19.16	14.37	0.60
180	3	10.25	28.73	23.95	1.00
240	4	8.26	38.31	33.52	1.40
300	5	6.99	47.89	43.10	1.80
360	6	6.10	57.47	52.68	2.20
420	7	5.43	67.05	62.26	2.59
480	8	4.91	76.63	71.84	2.99
540	9	4.50	86.20	81.42	3.39
600	10	4.16	95.78	90.99	3.79
660	11	3.87	101.88	98.83	4.12
720	12	3.62	94.04	97.96	4.08
780	13	3.41	86.20	90.12	3.76
840	14	3.23	78.37	82.29	3.43
900	15	3.07	70.53	74.45	3.10
960	16	2.92	62.69	66.61	2.78
1020	17	2.79	54.86	58.78	2.45
1080	18	2.67	47.02	50.94	2.12
1140	19	2.57	39.18	43.10	1.80
1200	20	2.47	31.35	35.27	1.47
1260	21	2.38	23.51	27.43	1.14
1320	22	2.30	15.67	19.59	0.82
1380	23	2.23	7.84	11.76	0.49
1440	24	2.16	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.78: Datos del hietograma de bloques alternos para octubre.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	31.29	31.29	0.73
120	2	18.60	5.92	0.78
180	3	13.72	3.97	0.84
240	4	11.06	3.07	0.91
300	5	9.36	2.54	1.00
360	6	8.16	2.18	1.11
420	7	7.27	1.92	1.25
480	8	6.58	1.73	1.45
540	9	6.02	1.57	1.73
600	10	5.56	1.45	2.18
660	11	5.18	1.34	3.07
720	12	4.85	1.25	5.92
780	13	4.57	1.18	31.29
840	14	4.32	1.11	3.97
900	15	4.10	1.05	2.54
960	16	3.91	1.00	1.92
1020	17	3.74	0.96	1.57
1080	18	3.58	0.91	1.34
1140	19	3.44	0.88	1.18
1200	20	3.31	0.84	1.05
1260	21	3.19	0.81	0.96
1320	22	3.08	0.78	0.88
1380	23	2.98	0.76	0.81
1440	24	2.89	0.73	0.76

Tabla 7.79: Datos del hietograma triangular para octubre.

Tiempo	Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación	
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	
60	1	31.29	12.82	6.41	0.27
120	2	18.60	25.65	19.23	0.80
180	3	13.72	38.47	32.06	1.34
240	4	11.06	51.29	44.88	1.87
300	5	9.36	64.12	57.70	2.40
360	6	8.16	76.94	70.53	2.94
420	7	7.27	89.76	83.35	3.47
480	8	6.58	102.59	96.17	4.01
540	9	6.02	115.41	109.00	4.54
600	10	5.56	128.23	121.82	5.08
660	11	5.18	136.39	132.31	5.51
720	12	4.85	125.90	131.15	5.46
780	13	4.57	115.41	120.65	5.03
840	14	4.32	104.92	110.16	4.59
900	15	4.10	94.43	99.67	4.15
960	16	3.91	83.93	89.18	3.72
1020	17	3.74	73.44	78.69	3.28
1080	18	3.58	62.95	68.20	2.84
1140	19	3.44	52.46	57.70	2.40
1200	20	3.31	41.97	47.21	1.97
1260	21	3.19	31.48	36.72	1.53
1320	22	3.08	20.98	26.23	1.09
1380	23	2.98	10.49	15.74	0.66
1440	24	2.89	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.80: Datos del hietograma de bloques alternos para noviembre.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	19.26	19.26	0.45
120	2	11.45	3.64	0.48
180	3	8.45	2.44	0.52
240	4	6.81	1.89	0.56
300	5	5.76	1.56	0.62
360	6	5.02	1.34	0.68
420	7	4.48	1.18	0.77
480	8	4.05	1.06	0.89
540	9	3.71	0.97	1.06
600	10	3.43	0.89	1.34
660	11	3.19	0.83	1.89
720	12	2.99	0.77	3.64
780	13	2.81	0.72	19.26
840	14	2.66	0.68	2.44
900	15	2.53	0.65	1.56
960	16	2.41	0.62	1.18
1020	17	2.30	0.59	0.97
1080	18	2.20	0.56	0.83
1140	19	2.12	0.54	0.72
1200	20	2.04	0.52	0.65
1260	21	1.96	0.50	0.59
1320	22	1.90	0.48	0.54
1380	23	1.83	0.47	0.50
1440	24	1.78	0.45	0.47

Tabla 7.81: Datos del hietograma triangular para noviembre.

Tiempo	Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación	
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	
60	1	19.26	7.89	3.95	0.16
120	2	11.45	15.79	11.84	0.49
180	3	8.45	23.68	19.74	0.82
240	4	6.81	31.58	27.63	1.15
300	5	5.76	39.47	35.53	1.48
360	6	5.02	47.37	43.42	1.81
420	7	4.48	55.26	51.32	2.14
480	8	4.05	63.16	59.21	2.47
540	9	3.71	71.05	67.11	2.80
600	10	3.43	78.95	75.00	3.13
660	11	3.19	83.97	81.46	3.39
720	12	2.99	77.51	80.74	3.36
780	13	2.81	71.05	74.28	3.10
840	14	2.66	64.59	67.82	2.83
900	15	2.53	58.13	61.36	2.56
960	16	2.41	51.68	54.90	2.29
1020	17	2.30	45.22	48.45	2.02
1080	18	2.20	38.76	41.99	1.75
1140	19	2.12	32.30	35.53	1.48
1200	20	2.04	25.84	29.07	1.21
1260	21	1.96	19.38	22.61	0.94
1320	22	1.90	12.92	16.15	0.67
1380	23	1.83	6.46	9.69	0.40
1440	24	1.78	0.00	0.00	0.00

Tabla 7.82: Datos del hietograma de bloques alternos para diciembre.

Tiempo		Intensidad	Precipitación	Precipitación parcial
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60	1	29.61	29.61	0.69
120	2	17.60	5.60	0.74
180	3	12.99	3.76	0.80
240	4	10.47	2.91	0.87
300	5	8.85	2.40	0.95
360	6	7.72	2.06	1.05
420	7	6.88	1.82	1.19
480	8	6.22	1.63	1.37
540	9	5.70	1.49	1.63
600	10	5.26	1.37	2.06
660	11	4.90	1.27	2.91
720	12	4.59	1.19	5.60
780	13	4.32	1.11	29.61
840	14	4.09	1.05	3.76
900	15	3.88	1.00	2.40
960	16	3.70	0.95	1.82
1020	17	3.54	0.90	1.49
1080	18	3.39	0.87	1.27
1140	19	3.25	0.83	1.11
1200	20	3.13	0.80	1.00
1260	21	3.02	0.77	0.90
1320	22	2.91	0.74	0.83
1380	23	2.82	0.72	0.77
1440	24	2.73	0.69	0.72

Tabla 7.83: Datos del hietograma triangular para diciembre.

Tiempo		Intensidad	Corte	H. Bloque	Precipitación
<i>min</i>	<i>h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm/h</i>	<i>mm</i>
60	1	29.61	12.14	6.07	0.25
120	2	17.60	24.27	18.20	0.76
180	3	12.99	36.41	30.34	1.26
240	4	10.47	48.54	42.47	1.77
300	5	8.85	60.68	54.61	2.28
360	6	7.72	72.81	66.74	2.78
420	7	6.88	84.95	78.88	3.29
480	8	6.22	97.08	91.02	3.79
540	9	5.70	109.22	103.15	4.30
600	10	5.26	121.35	115.29	4.80
660	11	4.90	129.08	125.22	5.22
720	12	4.59	119.15	124.11	5.17
780	13	4.32	109.22	114.18	4.76
840	14	4.09	99.29	104.25	4.34
900	15	3.88	89.36	94.33	3.93
960	16	3.70	79.43	84.40	3.52
1020	17	3.54	69.50	74.47	3.10
1080	18	3.39	59.57	64.54	2.69
1140	19	3.25	49.64	54.61	2.28
1200	20	3.13	39.72	44.68	1.86
1260	21	3.02	29.79	34.75	1.45
1320	22	2.91	19.86	24.82	1.03
1380	23	2.82	9.93	14.89	0.62
1440	24	2.73	0.00	0.00	0.00

Rodrigo Eduardo Vélez Redrován portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0302968433. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Estudio hidrológico para factibilidad de un embalse de agua en la ciudad de Azogues” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 23 de febrero de 2023

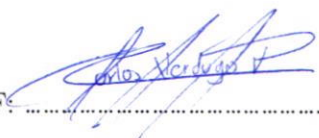
F:

Rodrigo Eduardo Vélez Redrován

C.I. 0302968433

Carlos Daniel Verdugo Tenesaca portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0302802020. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Estudio hidrológico para factibilidad de un embalse de agua en la ciudad de Azogues” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 23 de febrero de 2023

F: 

Carlos Daniel Verdugo Tenesaca

C.I. 0302802020