

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DETERMINACIÓN DE CURVAS DE FRECUENCIA Y ZONIFICACIÓN  
DE INTENSIDADES EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RÍO  
PAUTE.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**DAVID RICARDO ESTRELLA ROLDÁN**

**DIRECTOR:**

**ING.CRISTIAN IVÁN COELLO GRANDA MSc.**

**CUENCA – ECUADOR**

**OCTUBRE 2016**



## **Resumen.**

Un adecuado estudio hidrológico es primordial para la elaboración y posterior construcción de todo proyecto de ingeniería, sea este vial, de abastecimiento de agua, agrícola entre otros. Es conveniente conocer la relación existente entre la distribución, intensidad y frecuencia de las precipitaciones a fin de prever acciones de control ante eventos máximos. El objetivo de esta investigación es que, observando la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones y sus intensidades, elaborar expresiones para la zonificación de intensidades. Esto a partir del procesamiento, validación, y el posterior análisis de la información instantánea recolectada en diferentes escalas volumétricas. La obtención de expresiones de frecuencia, permitirá generar información en zonas donde no existan datos de precipitación, además de conocer con mayor precisión la variabilidad espacio temporal que presenta.

El último estudio realizado por INAMHI (2015), permitió dividir al Ecuador en 72 zonas, cada una con su ecuación de intensidad, sin embargo, dado que cada zona engloba un área demasiado grande, la presente investigación pretende crear una división más discreta en la zona ubicada en la cuenca media alta del Río Paute, permitiendo un estudio más real de precipitaciones en el sector. Se empleó información de 18 estaciones pluviométricas, con duración media de 13 años, monitoreadas por: ETAPA EP, INAMHI y PROMAS Universidad de Cuenca. Usando métodos de interpolación estadística, se concluyó en la división de la cuenca media alta del Río Paute en 14 zonas, tomando en cada una de ellas, la ecuación de intensidad de la estación más representativa del sector.

## **Palabras Clave:**

Curvas IDF, Zonificación de Intensidades, Cuenca media alta del Río Paute, Precipitaciones, Análisis de vecino más cercano, Distancia inversa ponderada.



## **Abstract.**

An adequate hydrological study is essential for the development and subsequent construction of entire engineering project, be it vial constructions, water supply, agriculture and others. It is useful to know the relationship between the distribution, intensity and frequency of rainfall in order to provide control actions of maximum events in any project. The objective of this research is that analyzing the spatial and temporal variability of rainfall and its intensity, develop expressions for zoning intensities. This from the processing, validation, and subsequent analysis of instant information collected at different volume scales. Obtaining the expressions of frequencies, will allow us generate information in areas where there are no precipitation data and to describe more accurately the spatial temporal variability that this presents.

The latest study by the INAMHI in 2015 allowed to divide Ecuador into 72 zones, each with its intensity equation, however, since each area covers too large an area, this research aims to create a more discreet division in the area located in the high middle basin of river Paute, allowing a more realistic study of rainfall in the sector. Was used the instant information of 18 rainfall stations, with an average duration of 13 years. These stations are monitored by: ETAPA EP, INAMHI and PROMAS University of Cuenca. Using statistical interpolation methods, it was concluded in the division of the high middle basin of river Paute in 14 areas, taking in each, the equation of intensity of the most representative station on the sector.

## **Keywords:**

IDF curves, Zoning of intensities, High middle basin of River Paute, Rainfall Studio, Nearest Neighbor Analysis, Inverse Distance Weighting (IDW).



# Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Cláusula de derechos de autor.....	7
Cláusula de propiedad intelectual.....	8
Agradecimientos.....	9
Dedicatoria.....	10
1. Introducción.....	12
1.1. Antecedentes.....	12
1.2. Justificación.....	13
1.3. Marco Teórico.....	14
1.4. Objetivos.....	16
1.4.1. Objetivo General.....	16
1.4.2. Objetivos Específicos.....	16
2. Materiales.....	17
2.1. Zona de Estudio.....	17
2.2. Información Meteorológica.....	19
2.2.1. Selección de las estaciones meteorológicas.....	19
2.2.2. Estaciones monitoreadas.....	19
2.2.2.1. Estaciones monitoreadas por INAMHI.....	19
2.2.2.2. Estaciones monitoreadas por ETAPA EP.....	20
2.2.2.3. Estaciones monitoreadas por PROMAS Universidad de Cuenca.....	21
2.3. Eventos máximos de precipitación.....	22
2.4. Cartografía disponible.....	22
3. Métodos.....	24
3.1. Procesamiento y validación de la información.....	24
3.2. Ajuste de datos con una Función de Distribución de Probabilidad.....	24
3.2.1. Distribución de probabilidad Normal.....	24
3.2.2. Distribución de probabilidad Gumbel.....	25
Test de Kolmogorov-Smirnov.....	26
Coeficiente de Determinación $R^2$ .....	26



Coeficiente de Correlación R.....	26
3.3.    Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF). ....	27
3.4.    Calculo de Ecuaciones de Intensidad. ....	27
3.4.1.    Ecuación de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno.....	28
3.4.2.    Ecuación de Intensidad en función de la intensidad diaria. ....	29
3.5.    Zonificación de intensidades a partir de métodos estadísticos de interpolación. ....	30
3.5.1.    Análisis del vecino más cercano. ....	31
3.5.2.    Distancia inversa ponderada (IDW). ....	31
3.5.3.    Zonificación de intensidades.....	32
4.    Resultados y Discusión.....	33
4.1.    Ecuación de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno.....	33
4.2.    Ecuaciones de Intensidad en función de la intensidad diaria. ....	36
4.3.    Interpolación espacial. ....	39
4.4.    Generación del mapa de zonificación del área de estudio. ....	41
4.5.    Comparación y discusión de resultados.....	44
5.    Conclusiones y Recomendaciones. ....	47
6.    Referencias. ....	49
Anexos.....	51
A)    Tabla estadística con el valor de “Dt”. ....	51
B)    Curvas IDF.....	52
Cuadro 1. Intensidad máxima de la Estación Cancán Soldados.....	52
Cuadro 2. Intensidad máxima de la Estación Gualaceo D.J. Pamar.....	53
Cuadro 3. Intensidad máxima de la Estación La Esmeralda.....	54
Cuadro 4. Intensidad máxima de la Estación Machángara D.J. Chulco (Saucay)..	55
Cuadro 5. Intensidad máxima de la Estación Jima .....	56
Cuadro 6. Intensidad máxima de la Estación Tarqui D.J. Cumbe .....	57
Cuadro 7. Intensidad máxima de la Estación Chanlud .....	58
Cuadro 8. Intensidad máxima de la Estación El Portete .....	59
Cuadro 9. Intensidad máxima de la Estación El Labrado.....	60
Cuadro 10. Intensidad máxima de la Estación Ucubamba en ETAPA .....	61
Cuadro 11. Intensidad máxima de la Estación Huagrahuma .....	62



Cuadro 12. Intensidad máxima de la Estación Marianza .....	63
Cuadro 13. Intensidad máxima de la Estación Matadero en Sayausí .....	64
Cuadro 14. Intensidad máxima de la Estación Yanuncay en Pucán .....	65
Cuadro 15. Intensidad máxima de la Estación Saucay .....	66
Cuadro 16. Intensidad máxima de la Estación Cuenca Aeropuerto .....	67
Cuadro 17. Intensidad máxima de la Estación Gualaceo .....	68
Cuadro 18. Intensidad máxima de la Estación Ricaurte Cuenca .....	69



**Cláusula de derechos de autor.**

Yo **DAVID RICARDO ESTRELLA ROLDÁN**, autor de la tesis “**DETERMINACIÓN DE CURVAS DE FRECUENCIA Y ZONIFICACIÓN EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RÍO PAUTE**”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **INGENIERO CIVIL**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre 2016

---

David Ricardo Estrella Roldán

C.I: 0106036056



**Cláusula de propiedad intelectual.**

Yo **DAVID RICARDO ESTRELLA ROLDÁN**, autor de la tesis "**DETERMINACIÓN DE CURVAS DE FRECUENCIA Y ZONIFICACIÓN EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RÍO PAUTE**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Octubre 2016

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'D' followed by the name 'Ricardo Estrella Roldán'.

---

David Ricardo Estrella Roldán

C.I: 0106036056



## **Agradecimientos.**

A mis padres y hermanos, que han sido el mayor soporte que me ha impulsado a avanzar en mis estudios.

Al Director de Tesis, Ingeniero Cristian Coello, que, con sus conocimientos en el área, supo guiar el desarrollo de la presente investigación. Al compartir sus conocimientos, experiencias y su magnífica dirección.

David.



## **Dedicatoria.**

A mi abuelito Luis, que me enseñó lo que es el sacrificarse por prosperar, sin olvidar disfrutar la vida sin complicaciones.

A mi familia, que me ha guiado hasta culminar con esta etapa de mi vida.

David.



“Si hay algún elemento del entorno geográfico que poco o nada el hombre puede manejar o modificar conscientemente, ese es el clima. Si hay algún clima en extremo difícil de comprender, de pronosticar y de manejar, ese es el que resulta de la concurrencia de tan complejos condicionantes como son la posición equinoccial, la constitución andina y la vecindad oceánica. Ese es el clima o los climas del Ecuador.”

Nelson Gómez, Geógrafo ecuatoriano.



## 1. Introducción.

### 1.1. Antecedentes.

La precipitación forma parte importante en el ciclo hidrológico, interviniendo en el almacenamiento de agua dulce en el planeta, ya sea superficial o subterránea. El régimen pluviométrico es una de las características más importantes de una región, pues varios son los factores que alteran el ámbito meteorológico, hidrológico y de ingeniería civil.

Un evento de precipitación, desde el punto de vista hidrológico, es analizado a través de su intensidad, distribución (en espacio y tiempo) y su frecuencia. Para caracterizar un evento de lluvia se requiere de un gran número de observaciones, extraídas de series pluviográficas, a fin de inferir un patrón de comportamiento en una zona dada y permitir un análisis o uso posterior (Tapia, Martínez, & Villanelo, 2001).

Es común pensar que en áreas pequeñas, cualquier evento de lluvia será uniforme, generalizando así la información obtenida por un solo pluviómetro a fin de caracterizar las precipitaciones de una zona (Patrick & Stephenson, 1990, citado en Barbancho, 1998), pero al pasar del tiempo se ha demostrado que este razonamiento es incorrecto, resultando en que la distribución espacial de la lluvia debe ser otro factor a considerar en el balance hídrico (Goodrich et al., 1995, citado en Barbancho, 1998).

El generalizar la información obtenida por un solo pluviómetro a toda la extensión de una cuenca, en varios casos puede no ser representativo de la zona y por lo tanto provocar errores en la elaboración de un balance de agua. Dependiendo del evento, existirá una distribución desigual de la cantidad e intensidad de lluvia, generando variaciones entre la escorrentía superficial real y la calculada (Barbancho, 1998).

En Ecuador, se puede acceder fácilmente a información relativa a los totales anuales de precipitación, representada de manera global en mapas de isoyetas, que permiten valorar los aportes de origen meteórico. Si bien el concepto de media anual, es suficiente para una planificación general de los recursos naturales renovables, este siempre debe completarse cuando se abordan estudios de factibilidad en proyectos de manejo hidráulico o de equipamiento de infraestructuras.

La excedencia o escases de agua, tienen un gran impacto en el equilibrio de una economía, dependiente en gran parte de los recursos agrícolas, haciendo que el clima sea una de las principales preocupaciones del agricultor, del planificador o del ingeniero encargado de las infraestructuras. Los valores promedio anuales ya no constituyen un criterio de apreciación suficiente, pues son los eventos extremos,



tales como las lluvias catastróficas que acompañan al fenómeno de El Niño, los que tienen efectos determinantes. Así, la predicción de tales eventos extremos sería muy valiosa puesto que permitiría tomar ciertas precauciones para limitar sus efectos (Pourrut & others, 1995).

Para la presente investigación, los datos de precipitación son obtenidos de los registros instantáneos de 18 estaciones meteorológicas, distribuidas en siete subcuencas, pertenecientes a la cuenca media alta del Río Paute. Cabe recalcar que se obtuvo registros con un período medio de 13 años.

Con dicha información se calculó las precipitaciones e intensidades máximas para distintas duraciones y diferentes períodos de retorno. A continuación, se elaboran las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF). De estos gráficos se establecen las intensidades máximas para diferentes duraciones, siendo la duración mínima 5 minutos y máxima 24 horas.

La finalidad de este trabajo de investigación, es que conociendo la precipitación máxima 24 horas en cualquier zona perteneciente a la cuenca media alta del Río Paute, se obtenga la intensidad para un período de diseño de una obra hidráulica a partir de la ecuación de dicha zona. Para lo cual se comprobó que todas las curvas de una misma estación relacionadas a diferentes períodos de retorno, sean afines. Lo cual permite aplicar cualquier período de retorno y extrapolar a lugares donde no se puede obtener valores de intensidad debido a falta de información pluviográficas (INAMHI, 1999).

## 1.2. Justificación.

Para el tratamiento de la información es común el uso de diversos software basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG), a fin de realizar esquemas de clasificación que permitan la visualización de la distribución espacial de la variable de estudio.

En 1999, INAMHI realizó un análisis con la información de 178 estaciones meteorológicas, a partir del ajuste con procedimientos estadísticos y la extrapolación de valores máximos de precipitación. Esto a fin de relacionar los valores de intensidad de lluvia con los valores de precipitaciones máximas en 24 horas, de tal forma que con las observaciones diarias de precipitación, sea factible encontrar la intensidad de lluvia que origino dicho evento. Para la extrapolación de lluvias intensas, INAMHI eligió como valor de referencia la intensidad diaria, de tal forma que la intensidad a calcular sea una función de la duración de lluvia y la intensidad en 24 horas registrada en estaciones próximas a la zona de estudio  $I/d=f(d)$ .



Considerando que el valor de  $I/I_d$  no tendrá grandes variaciones en zonas homogéneas, se calcularon los valores promedios de este cociente para cada duración de evento, y observando las dispersiones existentes entre estaciones, se consiguió la división del Ecuador en 35 zonas, cada una con sus respectivas ecuaciones de intensidad (INAMHI, 1999).

Con el avance en los sistemas computacionales, el análisis de las variables hidrológicas, así como la implementación de un total de 291 estaciones meteorológicas, INAMHI publicó una actualización de su Estudio de Lluvias Intensas en 2015. De esta forma con el uso de digitalizadores, se transformaron las imágenes escaneadas del papel en datos digitales utilizables, lo cual permitió emplear series de datos con el máximo posible de años de registros. Así con la debida construcción de curvas IDF y el cálculo de intensidades medias para cada duración, se obtuvo una envolvente, en la cual al observar los quiebres existentes, se pudo obtener un mayor número de ecuaciones a emplear, para una misma estación (INAMHI, 2015).

En el estudio hecho por INAMHI en 2015, se empleó el método de interpolación de Cressman, en el cual cada punto de malla es sucesivamente ajustado a las observaciones cercanas en una serie de escaneos de los datos, el radio de influencia se reduce en cada escaneo a fin de concentrar la información en el punto analizado. Este análisis permitió la división del país en 72 zonas con ecuaciones de intensidad, disminuyendo así el tamaño de cada zona y aumentando la exactitud en el resultado, respecto al estudio anterior.

En el ámbito ingenieril es de gran importancia conocer el comportamiento de las variables que intervienen en el objeto de estudio, en el caso de la presente investigación a través de varios análisis se pretende tener conocimiento sobre la variación con la cual se dan diversos eventos de lluvia, describiendo dichos eventos en forma analítica con el uso de expresiones que permitan su cuantificación, además de actualizar los datos de eventos extremos existentes en la región. Esto ayudara al momento de ejecutar obras viales, de saneamiento, entre otras, a fin de que su diseño sea más confiable considerando los eventos extremos resultados de esta investigación.

### **1.3. Marco Teórico.**

Actualmente existen diversas metodologías para el análisis e interpolación de variables meteorológicas, así se han realizado varias propuestas para explicar de la mejor manera posible métodos que ajusten la variable de precipitación. Varios de estos estudios se encuentran enfocados en el desarrollado de técnicas para el análisis espacial, partiendo de la información registrada por estaciones pluviométricas durante el mayor periodo posible (Corredor & others, 2014).



La existencia de información sobre precipitaciones en varias zonas de una región, es un requerimiento esencial para el diseño y planificación de obras civiles. Pero, debido a que en muchos casos no se posee de registros de lluvias, con la duración adecuada para hacer análisis de frecuencia; se debe entonces emplear información registrada en regiones cercanas o que presenten características similares a fin de estimar eventos máximos de cierta frecuencia. (Tapia, Martínez, & Villanelo, 2001).

Las curvas IDF permiten calcular la intensidad promedio para cierta probabilidad de excedencia y duración (Maidment, 1993 citado en Pereyra-Díaz, Ochoa-Martínez, & Pérez-Sesma, 2005). Varios autores se refieren a dichas curvas, como gráficas en las cuales se concentran las características de las tormentas de la zona o región, con respecto a sus tres variables principales: magnitud, duración y frecuencia (Campos, 1998 citado en Pereyra-Díaz, Ochoa-Martínez, & Pérez-Sesma, 2005).

Eventos de precipitaciones de gran magnitud, duración e intensidad que se producen en las partes altas de las subcuencas pertenecientes al Río Paute, tienen respuestas muy rápidas ya que en términos generales las crecientes generadas por ellas, llegan hasta la ciudad en el transcurso de dos a tres horas. Algunas de las causas de estas respuestas son la deforestación, así como la eliminación del colchón amortiguador en los pajonales, esto a echo que el drenaje en esta cuenca sea en un tiempo mucho menor que lo previsto (Basabe, Almeida, Ramón, Zeas, & Alvarez, 1996).

El conocimiento oportuno de las precipitaciones extremas, es de vital importancia, pues permite el dimensionamiento hidrológico de áreas para el drenaje vial o urbano, de sitios críticos, redes de alcantarillado y para el diseño de todo tipo de obras hidráulicas. Además, el comportamiento de las intensidades de precipitación permite la detección del cambio climático y la evaluación de sus posibles efectos sobre un territorio (INAMHI, 2015).

Para realizar un estudio sobre lluvias es necesario; hacer un análisis de datos de cada una de las estaciones pluviométricas presentes en la zona de estudio, y asociar las características de intensidad, duración, frecuencia y distribución con lo cual se obtienen resultados más cercanos a la realidad climática de cada región (INAMHI, 2012).

Debido a la complejidad de las obras hidráulicas y el costo de construcción y operación es necesario contar con un análisis completo de intensidades, duración y frecuencia de las lluvias desarrollando una metodología práctica, basada en análisis estadísticos logrando una información confiable (INAMHI, 2012).

Analizando el comportamiento de las precipitaciones en función de la duración y la frecuencia, con las curvas IDF, se pretende dotar de patrones de conductas de las lluvias, los cuales permitan diseños confiables y efectivos para la ingeniería



hidráulica, además de poner a disposición de los investigadores una herramienta de análisis y planificación en el largo plazo (Tapia, Martínez, & Villanelo, 2001).

A partir de información instantánea de estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Paute y con la posterior obtención de histogramas de diseño para diferentes tiempos de concentración en subcuencas de interés, se ha podido analizar la variabilidad espacial y temporal de eventos de precipitaciones así como de sus intensidades (Calle Urgilés, 2015).

#### **1.4. Objetivos.**

##### **1.4.1. Objetivo General.**

A partir de registros instantáneos de precipitación en distintas estaciones meteorológicas, analizar la variabilidad de las lluvias y sus intensidades, elaborar las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia y finalmente obtener expresiones de intensidades que describan las lluvias realizando la zonificación de la región perteneciente a la cuenca media alta del Río Paute.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Recopilar, procesar y validar la información instantánea obtenida de las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio.
- Construir curvas intensidad, duración y frecuencia para distintos períodos de retorno para cada una de las estaciones.
- Obtener distintas ecuaciones de intensidad y frecuencia en función de la duración del evento de lluvia para cada estación de análisis.
- Encontrar relaciones entre la intensidad de lluvia para distintas duraciones y la intensidad de lluvia diaria, lo que permitirá la zonificación de las ecuaciones de frecuencia e intensidades máximas.
- Elaborar el mapa de la zonificación espacial de frecuencias para las zonas de investigación.



## 2. Materiales.

### 2.1. Zona de Estudio.

La cuenca hidrográfica del Río Paute se encuentra en la región austral del Ecuador, en los Andes Centro Sur, su superficie es aproximadamente de 6400 Km<sup>2</sup>, forma parte de las provincias del Azuay, Cañar y Morona Santiago. La cuenca hidrográfica está constituida por cadenas montañosas, y presenta variaciones de altitud entre los 2.000 m.s.n.m. y los 4.000 m.s.n.m. por lo cual existe gran variedad de temperaturas.

El descenso normal de las temperaturas varía de manera inversamente proporcional con respecto al aumento altitudinal, a razón de aproximadamente 1°C cada 200m (Donoso Correa, 2002). Esta cuenca forma parte de la cuenca del Santiago-Namangoza, la cual constituye parte de la cuenca del Río Amazonas. Por otro lado, estas variaciones de nivel, han permitido el aprovechamiento del cauce del Río Paute, construyendo el Complejo Hidroeléctrico Paute, el cuál actualmente genera la mayor parte de la energía eléctrica del país, siendo la Represa de Paute la mayor productora del sistema hidroenergético.

Debido a la variación en cantidad y distribución de las lluvias dentro de la cuenca, se han delimitado tres regiones denominadas cuenca alta, media, y baja, dentro de cada una de estas existen una serie de subcuencas menores, las cuales llevan el nombre del río correspondiente. A continuación en la Tabla 2.1 se muestra la cuenca del Río Paute, con las subcuencas de interés para la presente investigación.

<b>Cuenca media alta del Río Paute</b>	
<b>Subcuenca</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Machángara	325.45
Sidcay	43.30
Tarqui	476.30
Tomebamba	380.42
Yanuncay	418.89
<b>Total Cuenca Alta</b>	<b>1644.36</b>
Burgay	447.04
Cuenca	120.30
Jadán	297.52
Santa Bárbara	952.53
<b>Total Cuenca Media</b>	<b>1817.39</b>

*Tabla 2.1 División de subcuencas.*

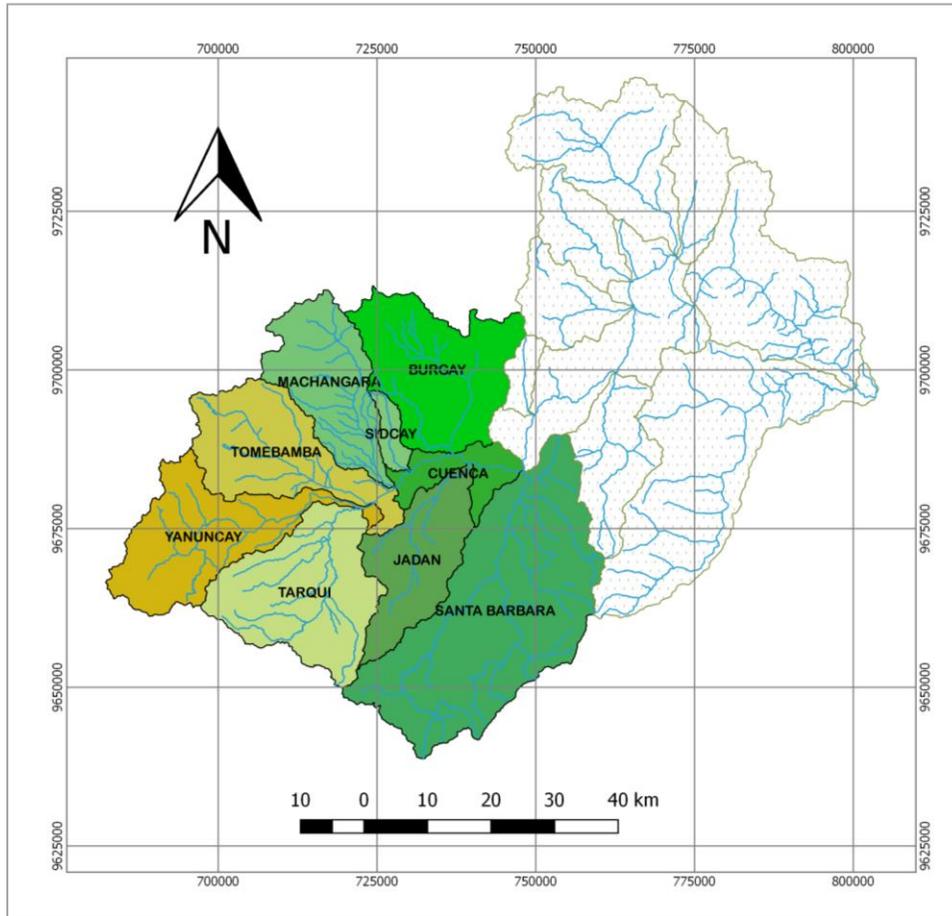


Figura 2.1 Cuenca Hidrográfica del Río Paute.

En la Figura 2.1 se muestra la extensión de la cuenca media alta perteneciente al Río Paute, en estas subcuencas se encuentran distribuidas las estaciones para la presente investigación.

La extensión de la superficie de análisis abarca a las subcuencas de los ríos Machángara, Tomebamba y Tarqui, hasta la altura de Cuenca, las precipitaciones presentan diferentes regímenes siendo del tipo oriental como del occidental, por lo que la distribución de precipitaciones durante el año es relativamente uniforme (Donoso Correa, 2002).

Los resultados de un análisis de correlación entre estaciones ubicadas en la cuenca del Río Paute, utilizando información de medias mensuales reveló la existencia de dos regímenes de lluvias contrastantes: un régimen unimodal y otro bimodal. El régimen unimodal se encuentra situado en la parte media baja de la cuenca, cuenta con un solo pico de lluvias en junio o julio, su precipitación media anual tiene una considerable variación en magnitud, entre 900 y 3400 mm. Esta gran diferencia en los volúmenes de precipitación se atribuye al efecto orográfico. Las regiones con



régimen unimodal se encuentran en zonas con vientos húmedos, originarios de la cuenca del Amazonas, la cual entra en la Cuenca del Paute (a través del cañón del río Paute, formada por la Cordillera Oriental hacia la cuenca del Amazonas). El cambio brusco en la elevación, genera altos volúmenes de precipitaciones (Celleri, Willems, Buytaert, & Feyen, 2007).

Por otro lado, el régimen bimodal situado en la parte central y alta de la cuenca, en las zonas de transición entre la depresión interandina y la cuenca del Amazonas. Presenta picos de precipitación en abril y octubre, a su vez se observa una marcada estación seca entre junio y agosto y su precipitación anual media oscila entre 660 1100 mm (Celleri et al., 2007).

## **2.2. Información Meteorológica.**

### **2.2.1. Selección de las estaciones meteorológicas.**

Para la selección de las estaciones se consideró el tipo, cantidad y principalmente la periodicidad de los datos, tomando como límite un período mínimo de 8 años de registros continuo.

Se observó que en la región de interés existen 27 estaciones meteorológicas, de las cuales se tiene información de registros de precipitaciones de 20 estaciones. De estas, dos de ellas no cuentan con un período de más de seis años, por lo cual no fueron tomadas en cuenta para la investigación. Quedando así 18 estaciones idóneas para el análisis, distribuidas; 13 en la cuenca alta y 5 en la cuenca media del Río Paute.

Cabe recalcar que, de las 18 estaciones seleccionadas, 15 de ellas cuenta con registros instantáneos y las 3 restantes provienen de datos publicados por el INAMHI en su Actualización del Estudio de Lluvias Intensas 2015. La serie de datos tiene una duración media de 13 años.

### **2.2.2. Estaciones monitoreadas.**

#### **2.2.2.1. Estaciones monitoreadas por INAMHI.**

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, actual INAMHI fue creado en 1961 y desde el 2010 forma parte de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. El INAMHI establece, opera y mantiene la red de estaciones hidrometeorológicas del país. Esta institución contribuye proporcionando información hidrometeorológica, que sirve de base para la planificación territorial, previsión meteorológica, monitoreo y análisis de las condiciones climatológicas, gestión de



recursos hídricos, riesgos hidrometeorológicos, y sistemas de alerta temprana frente a riesgos provocados por eventos naturales (INAMHI, 2015).

Al año 2015, INAMHI cuenta con 410 estaciones convencionales repartidas en todo el territorio ecuatoriano, 260 de las cuales son estaciones meteorológicas y 150 estaciones hidrológicas. Se tomó para la investigación la información de 3 de estas estaciones, las cuales se indican en la Tabla 2.2.2.1.

Estación	Código	Subcuenca	UTMx (m)	UTMy (m)	Altura (m.s.n.m.)	Años de Registro	Tipo de estación
Cuenca Aeropuerto	CA	Tomebamba	723909	9680361	2800	1965-2010	Climática
Gualaceo	Gu	Santa Bárbara	746925	9680841	2230	1982-2011	Climática
Ricaurte Cuenca	RC	Sidcay	727777	9684317	2545	1982-2011	Pluviográfica

*Tabla 2.2.2.1 Características de estaciones monitoreadas por INAMHI.  
Datum: WGS84-UTM-Zone-17S*

Cabe recalcar que de las 3 estaciones expuestas en la Tabla 2.2.2.1, se extrajo los resultados contenidos en la publicación “Actualización del estudio de lluvias intensas” realizada por INAMHI en el 2015, obteniendo directamente las ecuaciones de intensidad de precipitación.

### **2.2.2.2. Estaciones monitoreadas por ETAPA EP.**

La Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA EP), fue creada en 1968 en la ciudad de Cuenca, a fin de garantizar una adecuada prestación de servicios públicos.

En 1997, ETAPA EP y el Cuerpo Suizo de Socorro impulsan la Red Hidrometeorológica con 14 estaciones de medida, distribuidas en las principales subcuencas hidrográficas del Cantón. Esto a fin de conocer el comportamiento hídrico de las cuencas y optimizar su manejo (ETAPA EP, 2016).

Al año 2013 contaban ya con 66 estaciones, de las cuales 21 son pluviográficas, 31 limnigráficas y 14 meteorológicas, localizadas en gran parte de la cuenca del Río Paute, a fin de conocer con mayor precisión el comportamiento de las lluvias en la ciudad de Cuenca y sus alrededores. Los registros de las estaciones de ETAPA EP., tienen una escala de medición de 0.5mm por impulso. Se tomó la información de 13 de estas estaciones, las cuales se indican en la Tabla 2.2.2.2.



Estación	Código	Subcuenca	UTMx (m)	UTMy (m)	Altura (m.s.n.m.)	Años de Registro	Tipo de estación
Cancán-Soldados	CS	Yanuncay	695443	9674339	3538	1997-2009	Pluviográfica
Yanuncay en Pucán	YP	Yanuncay	703341	9674070	3000	1997-2015	Pluviográfica
Gualaceo D.J. Pamar	GP	Gualaceo	743591	9668095	2311	1997-2009	Pluviográfica
Jima	Ji	Gualaceo	726665	9646383	2898	1997-2009	Pluviográfica
Machángara DJ Chulco (Saucay)	MC	Machángara	720882	9695092	2972	2001-2009	Pluviográfica
Chanlud	Ch	Machángara	718605	9703578	3485	2002-2015	Pluviográfica
El Labrado	EL	Machángara	714217	9698184	3426	2001-2014	Pluviográfica
Saucay	Sa	Machángara	721330	9695835	3004	2002-2014	Pluviográfica
Tarqui D.J. Cumbe	TC	Tarqui	716525	9663955	2630	1997-2014	Pluviográfica
El Portete	EP	Tarqui	712674	9653054	3174	1997-2015	Pluviográfica
Ucubamba en ETAPA	UE	Cuenca	728241	9681776	2430	1998-2015	Pluviográfica
La Esmeralda	LE	Burgay	729421	9706614	3171	1997-2009	Pluviográfica
Matadero en Sayausí	MS	Tomebamba	714630	9681648	2526	1997-2015	Pluviográfica

Tabla 2.2.2.2 Características de estaciones monitoreadas por ETAPA EP.  
Datum: WGS84-UTM-Zone-17S

### 2.2.2.3. Estaciones monitoreadas por PROMAS Universidad de Cuenca.

El Programa de Manejo del Agua y Suelo PROMAS es un departamento de investigación perteneciente a la Universidad de Cuenca, su finalidad es contribuir al manejo sostenible de recursos de agua y suelo, garantizando su disponibilidad en calidad y cantidad.

A partir del año 2000, el PROMAS ha mantenido el monitoreo constante en la cuenca del Río Paute, implementando varias estaciones meteorológicas en la región. Los registros de las estaciones de PROMAS, tienen una escala volumétrica de 0.2mm.

Para la investigación, se consideró la información de 2 estaciones ubicadas estratégicamente, las cuales se indican en la Tabla 2.2.2.3.

Estación	Código	Subcuenca	UTMx (m)	UTMy (m)	Altura (m.s.n.m.)	Años de Registro	Tipo de estación
Huagramahuma	Hu	Machángara	719457	9705705	3590	2001-2015	Pluviográfica
Marianza	Ma	Tomebamba	708962	9684018	3622	2004-2015	Pluviográfica

Tabla 2.2.2.3 Características de estaciones monitoreadas por PROMAS.  
Datum: WGS84-UTM-Zone-17S



La información recolectada de las 2 estaciones de la Tabla 2.2.2.3, ha sido recopilada de los resultados de lluvias máximas de una investigación realizada por Calle Uriglés en 2015.

### 2.3. Eventos máximos de precipitación.

A partir de los registros instantáneos de precipitación, después del procesamiento, validación, aplicación de funciones de distribución de probabilidad y el análisis de datos pluviográficos de cada estación, se obtuvieron los eventos máximos de precipitación para cada duración. A continuación, en la Tabla 2.3 se muestran los eventos máximos en 24 horas para las estaciones en estudio.

Año de Registro	Estación (Código)														
	CS	YP	GP	Ji	MC	Ch	EL	TC	EP	UE	LE	MS	Hu	Sa	Ma
1997	31.0	33.0	28.5	21.0	-	-	-	32.5	32.5		48.5	49.0	-	-	-
1998	27.0	32.0	36.5	44.0	-	-	-	49.5	57.0	27.5	43.5	49.0	-	-	-
1999	26.0	43.5	34.5	33.5	-	-	-	36.0	44.5	43.0	39.0	47.5	-	-	-
2000	28.0	36.0	34.5	47.0	-	-	-	32.0	36.5	38.5	34.0	49.0	-	-	-
2001	23.0	29.5	33.5	40.0	44.5	-	30.5	35.5	57.5	53.0	44.5	36.0	52.2	-	-
2002	24.5	29.5	51.5	25.0	35.0	25.5	27.5	26.0	43.5	68.0	67.0	40.0	39.6	44.0	-
2003	33.0	27.5	28.0	59.5	44.0	38.0	38.5	29.0	40.0	67.5	47.0	59.0	44.0	49.5	-
2004	26.0	15.5	47.0	42.0	61.0	42.0	44.0	25.5	59.5	50.5	36.5	40.0	53.2	62.0	33.8
2005	25.0	27.5	32.0	23.0	35.5	38.5	37.0	30.5	43.0	64.5	36.0	48.0	37.8	40.5	36.6
2006	28.5	31.5	39.5	21.0	45.5	37.5	37.0	36.5	53.5	56.0	30.5	37.5	38.2	52.0	31.8
2007	23.5	30.0	31.0	36.5	38.0	55.5	39.5	36.5	47.0	50.5	52.5	42.5	61.2	49.5	34.8
2008	27.0	27.5	42.5	31.5	38.0	32.5	38.0	40.5	34.5	48.0	33.5	38.0	34.0	52.5	30.5
2009	24.5	28.5	36.0	27.5	53.5	37.5	31.5	33.5	40.0	47.0	51.0	73.0	38.0	59.5	25.1
2010	-	32.0	-	-	-	33.0	42.0	33.5	51.5	36.0	-	56.0	29.2	47.5	48.3
2011	-	47.0	-	-	-	36.5	41.0	43.0	71.0	54.5	-	37.0	50.0	56.5	32.6
2012	-	32.0	-	-	-	37.0	38.5	28.0	62.0	45.0	-	43.5	26.0	52.5	31.0
2013	-	26.5	-	-	-	38.0	25.5	32.5	29.5	37.5	-	65.5	39.8	37.5	35.8
2014	-	35.5	-	-	-	33.0	37.5	36.0	71.5	47.0	-	84.5	35.6	44.0	47.0
2015	-	35.5	-	-	-	33.5	-	-	43.0	42.5	-	37.0	45.6	-	26.6

Tabla 2.3 Eventos máximos de precipitación en 24 horas, para cada estación.

### 2.4. Cartografía disponible.

Para el análisis de la variabilidad espacial de las precipitaciones, se obtuvieron los archivos shape (SHP) tanto topográficos como hidrográficos, disponibles en el Geo portal del Instituto Geográfico Militar (IGM).

El IGM, es una entidad del estado ecuatoriano, responsable de la elaboración de cartografía básica de la República del Ecuador y del archivo de sus datos. En su Geo portal, el IGM publica el catálogo de uso libre de información geográfica digital,



el cual contiene datos continuos del país, siguiendo una distribución de cartas topográficas a escala 1:50.000. Esta base de datos geográfica, se encuentra en el Sistema de Referencia WGS84 en coordenadas planas (UTM), zona 17S (IGM, 2013).

Esta información cartográfica permitirá observar la división de la cuenca del Río Paute en sus distintas subcuencas, así como la ubicación espacial de las distintas estaciones analizadas dentro del área de investigación, todo esto a fin de encontrar relaciones que permitan la zonificación de intensidades en la región.



### 3. Métodos.

#### 3.1. Procesamiento y validación de la información.

El estudio se llevó a cabo utilizando información de 18 estaciones meteorológicas, que cuentan con registros instantáneos de precipitaciones tomadas con resolución de 0.5mm de lluvia en el caso de estaciones de ETAPA EP. y 0.2mm en el caso de estaciones de PROMAS.

Como primer paso se obtuvieron los datos registrados de los pluviógrafos de cada estación, tomados durante varios años. Estos datos fueron validados, observando que sea un registro continuo y consistente, así al detectar la existencia de errores, estos fueron corregidos oportunamente.

En forma general no se encontraron errores de consideración en la serie de datos. Una vez validados los registros para cada estación, se obtienen los eventos máximos 24 horas anuales, registrados para cada duración; 5, 10, 15, 20, 45, 60, 120, 240, 360, 720 y 1440 minutos. Esto con la ayuda de hojas de cálculo electrónicas y el uso de macros, filtros y subtotales. Pudiendo ser estos, eventos distintos.

A continuación, se procedió a la validación de los datos obtenidos, para lo cual se empleó el Diagrama de Caja con el cual se establece si los valores de los registros de un evento, se encuentran en rangos permitidos a fin de ser validados o desechados. Con los datos validados, se tomaron los valores de cada una de las series y se dividieron por su duración en horas, obteniéndose así las correspondientes intensidades en mm/h.

#### 3.2. Ajuste de datos con una Función de Distribución de Probabilidad.

Una vez calculadas las intensidades máximas de precipitación para cada estación, año, evento, duración y período de retorno, se procede a ajustar dichos valores a funciones de distribución de probabilidad. Las funciones empleadas fueron la Normal y Gumbel.

##### 3.2.1. Distribución de probabilidad Normal.

Para estimar la magnitud de un evento esperado en “T” años, se emplea la siguiente expresión:

$$X(T) = \bar{X} + Z_T * \sigma \quad (1)$$



Donde:

$X(T)$ : es la magnitud del evento esperado.

$\bar{X}$ : es la media de la serie de datos.

$\sigma$ : es la desviación estándar de la serie de datos.

$Z_T$ : es la variable normal estándar correspondiente a la probabilidad dada por el período de retorno requerido.

El valor de  $Z_T$  puede ser obtenido de tablas de distribución normal o utilizando una aproximación polinomial dada por (Chow, Maidment, Saldarriaga, Juan, & others, 1994):

$$Z_T = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.188269w^2 + 0.001308w^3} \quad (2)$$

Con:

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{F(x)^2}\right)} \quad (3)$$

$$F(x) = \frac{1}{T(x)} \quad (4)$$

$T(x)$ : es el período de retorno en años.

### 3.2.2. Distribución de probabilidad Gumbel.

Es conocida como una función de probabilidad de valor extremo tipo I, maneja la siguiente expresión (Aparicio, 1994).

$$x = u - \alpha (\ln(-\ln(F(x)))) \quad (5)$$

Con

$$\alpha = \sqrt{6} * \frac{\sigma}{\pi} \quad (6)$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha \quad (7)$$

$$F(x) = 1 - \frac{1}{T(x)} \quad (8)$$

$\sigma$ : desviación estándar de la serie de datos.

$\alpha$ : parámetro de escala.

$u$ : parámetro de ubicación (moda).

$T(x)$ : período de retorno en años.

$\bar{x}$ : es la media de la serie de datos.



Posteriormente se realizaron las pruebas de bondad de ajuste a las funciones de probabilidad anteriormente descritas. A continuación, se explican los test elaborados.

**Test de Kolmogorov-Smirnov.**

Mediante este test de bondad de ajuste, se pretende establecer el grado de fiabilidad con el cual la distribución empleada, representa a las series de precipitaciones, para la zona de estudio. Por lo cual se debe calcular el superior de las diferencias entre la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada. Con lo cual se obtiene el término “D” (Tapia, Martínez, & Villanelo, 2001):

$$D = \text{Sup}|Fn(x) - F(x)| \quad (9)$$

Tomando un nivel de confianza del 95%, el valor “D” debe siempre ser menor al valor de “Dt” obtenido de tablas estadísticas Anexo A, a fin de que el ajuste sea considerado adecuado.

**Coefficiente de Determinación R<sup>2</sup>.**

Este coeficiente representa el porcentaje de variación de los datos reales expuesto por el modelo seleccionado, se encuentra definido por la siguiente expresión (Aguilera Navarro & Pizarro Tapia, 2007):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Fn(x) - F(x))^2}{\sum(Fn(x) - \text{media}(Fn(x)))^2} \quad (10)$$

**Coefficiente de Correlación R.**

El coeficiente de correlación de Pearson, es un índice que permite medir el grado de relación existente entre dos variables cuantitativas, este coeficiente es independiente de la escala de medida de las variables, se encuentra definido por la siguiente expresión (U. de Sevilla, 2011):

$$R = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x} \bar{y}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (11)$$



Con

$\sigma$ : desviación estándar de la serie de datos de las funciones  $x$ ,  $y$ .

$N$ : número de datos.

$\bar{x}, \bar{y}$ : media de los datos  $x$ ,  $y$ .

$\sigma_x, \sigma_y$ : desviación estándar de los datos  $x$ ,  $y$ .

Una vez realizados los test de bondad de ajuste, se seleccionó la distribución de probabilidad que mejor represente la serie de datos de precipitaciones para cada duración. Siendo una sola para los datos de cada estación.

### 3.3. Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF).

Las curvas IDF, resultan de unir puntos representativos de la intensidad de un evento de lluvia, en intervalos de diferente duración, a su vez que el conjunto de puntos se asocia a un mismo período de retorno (Témez, 1978, citado Pizarro, Sangüesa, & Martínez, 2003).

Las curvas IDF también se pueden definir como gráficas en las cuales se concentran las características de las tormentas en una región, con respecto a sus 3 variables principales: magnitud, duración y frecuencia. (Campos, 1998, citado en Pereyra-Díaz, Ochoa-Martínez, & Pérez-Sesma, 2005).

Obtenidos los valores de intensidad para las distintas duraciones, se procedió a graficar los datos de intensidad de modo que se obtienen los puntos de la curva asociada a cada período de retorno seleccionado; 5, 10, 25, 50 y 100 años. De esta forma se expresa gráficamente la relación existente entre la intensidad, duración y frecuencia del evento de precipitación, registrado en cada estación. En el Anexo B se muestran las curvas IDF obtenidas para cada estación.

### 3.4. Cálculo de Ecuaciones de Intensidad.

Se procede con el análisis de las variables involucradas en los eventos de precipitaciones, a fin de determinar los modelos de ecuaciones que ayudarán a la obtención de la intensidad máxima para una duración y período de retorno dado. Esto permitirá representar la relación de la intensidad, duración y frecuencia no sólo de forma gráfica, sino también de forma analítica.

Actualmente existen varios modelos que permiten describir el comportamiento de la lluvia, así como sus parámetros, muchos de ellos provienen de relaciones empíricas, partiendo de la relación existente entre la lámina de lluvia generada y su duración. Varias de las expresiones analíticas paramétricas están caracterizadas



por un número variable de 3 a 4 parámetros, permitiendo una mayor flexibilidad de ajuste para los cuantiles de precipitación (UNESCO, 2013).

### 3.4.1. Ecuación de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno.

Se ha seleccionado un modelo que relaciona simultáneamente las tres variables (intensidad, duración y período de retorno) en una familia de curvas, cuya ecuación reducida es (Aparicio, 1994):

$$I = \frac{k * Tr^m}{t^n} \quad (12)$$

Donde:

I: es la intensidad de precipitación.

Tr: es el período de retorno.

t: es la duración del evento de lluvia en minutos.

k, m y n: son constantes calculadas mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

Tomando logaritmos en la ecuación 12, se tiene que:

$$\log I = \log k + m \log Tr - n \log t \quad (13)$$

Mediante un cambio de variable:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (14)$$

Con:

$$\begin{aligned} y &= \log I & a_0 &= \log k \\ x_1 &= \log Tr & a_1 &= m \\ x_2 &= \log t & a_2 &= -n \end{aligned}$$

Después de realizar el análisis de correlación lineal múltiple, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \sum y &= a_0 N + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 \\ \sum (x_1 * y) &= a_0 \sum x_1 + a_1 \sum (x_1)^2 + a_2 \sum (x_1 * x_2) \\ \sum (x_2 * y) &= a_0 \sum x_2 + a_1 \sum (x_1 * x_2) + a_2 \sum (x_2)^2 \end{aligned} \quad (15)$$

Con:

N: número de datos.

$a_0, a_1, a_2$ : son las incógnitas a despejar.

$y, x_1, x_2$ : son los logaritmos de variables conocidas: intensidad, período de retorno y duración respectivamente.



Habiendo calculado los coeficientes  $a_0, a_1, a_2$  se pueden obtener los valores de los parámetros  $k, m$  y  $n$  de la ecuación 12. Para establecer la calidad de la regresión, se utilizó como medida de bondad de ajuste al coeficiente de determinación  $R^2$  y su coeficiente de correlación  $R$ .

Con todas las variables calculadas y una vez corroborada la calidad de información obtenida, es posible expresar el modelo de ecuación de intensidad para cada estación, de la siguiente manera:

$$I = k * Tr^m * t^{-n} \quad (16)$$

A partir de la ecuación 16, es posible calcular la intensidad de precipitación para la región cercana al lugar donde se encuentra la estación, así también es posible la construcción de curvas IDF. Cabe recalcar que, para una mejor aproximación en los datos de intensidad, es conveniente sectorizar la ecuación 16 para varios intervalos de duración de lluvia establecidos, de esta forma se obtienen diferentes ecuaciones para una misma estación.

### 3.4.2. Ecuación de Intensidad en función de la intensidad diaria.

De igual manera, se emplea el modelo de ecuación planteado (Aparicio, 1994), con la diferencia que el número de variables disminuye, ahora se relaciona la intensidad diaria para un período de retorno, con la duración del evento:

$$I = \frac{k * Id_{TR}}{t^n} \quad (17)$$

Donde:

$I$ : es la intensidad de precipitación.

$Id_{TR}$ : es la intensidad diaria, para un período de retorno dado.

$t$ : es la duración del evento de lluvia en minutos.

$k$  y  $n$ : son constantes calculadas mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

Tomando logaritmos en la ecuación 17, se tiene que:

$$\log I - \log Id_{TR} = \log k - n \log t \quad (18)$$

Mediante un cambio de variable:

$$y = a_0 + a_1 x_1 \quad (19)$$

Con:

$$\begin{aligned} y &= \log(I/Id_{TR}) & a_0 &= \log k \\ x_1 &= \log t & a_1 &= -n \end{aligned}$$



Después de realizar el análisis de correlación lineal múltiple, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \sum y &= a_0 N + a_1 \sum x_1 \\ \sum(x_1 * y) &= a_0 \sum x_1 + a_1 \sum(x_1)^2 \end{aligned} \quad (20)$$

Con:

N: número de datos.

$a_0, a_1$ : son las incógnitas a despejar.

$y, x_1$ : son los logaritmos de variables conocidas: intensidad/intensidad diaria y duración respectivamente.

Habiendo calculado los coeficientes  $a_0, a_1$  se pueden obtener los valores de los parámetros  $k$  y  $n$  de la ecuación 17. Para establecer la calidad de la regresión, se utilizó como medida de bondad de ajuste al coeficiente de determinación  $R^2$  y su coeficiente de correlación  $R$ .

Con todas las variables calculadas y una vez corroborada la calidad de información obtenida, es posible expresar el modelo de ecuación de intensidad para cada estación, de la siguiente manera:

$$I = k * Id_{TR} * t^{-n} \quad (21)$$

A partir de la ecuación 21, es posible calcular la intensidad de precipitación para la región cercana al lugar donde se encuentra la estación, así también es posible la construcción de curvas IDF. Para una mejor aproximación de los datos de intensidad, es conveniente sectorizar la ecuación 21 para varios intervalos de duración de lluvia, de esta forma se obtienen varias ecuaciones para una misma estación.

### 3.5. Zonificación de intensidades a partir de métodos estadísticos de interpolación.

La disposición de una serie de puntos en el espacio conforma un patrón de puntos, el cual aporta información acerca de las variables y procesos recogidos en dichos puntos. En nuestro caso, los puntos representan las estaciones meteorológicas, las cuales llevan registro de eventos de lluvia en zonas cercanas, su distribución espacial sirve como indicador de la variabilidad con la cual se dan dichos eventos (Olaya, 2009).

En estadística la interpolación es usada para estimar valores desconocidos a partir de una serie de datos conocidos y ponderados. Cada técnica busca determinar una función que represente adecuadamente el fenómeno bajo estudio y así disminuir la cantidad de información a recolectar en campo (Murillo, Ortega, Carrillo, Pardo, & Rendón, 2015). Existen varios métodos para realizar la interpolación, en la presente



investigación se seleccionó el método de Análisis de vecino más cercano y la Distancia inversa ponderada (IDW).

### 3.5.1. Análisis del vecino más cercano.

Este método de análisis, se basa en la comparación entre; la distancia de cada punto a su vecino más cercano, con el valor que cabe esperar en una distribución aleatoria, de esta forma puede deducirse el tipo de estructura en la distribución observada. El valor que define el patrón de puntos a estudiar es el índice de vecino más cercano, el cual se calcula con la siguiente expresión (Olaya, 2009):

$$I_{mc} = \frac{\bar{d}_{mc}}{E(\bar{d}_{mc})} \quad (22)$$

Con

$\bar{d}_{mc}$  : es la media de las distancias al punto más cercano.

$E(\bar{d}_{mc})$  : es la media esperada en una distribución de Poisson.

$$E(\bar{d}_{mc}) = \frac{1}{2\sqrt{\frac{N}{A}}} \quad (23)$$

Con

N: número de puntos.

A: área de estudio.

### 3.5.2. Distancia inversa ponderada (IDW).

Es un método de interpolación basado en la auto-correlación espacial de puntos para la predicción y generación de superficies continuas. Este método usa una función de distancia inversa, parte del supuesto que los objetos más cercanos son más parecidos, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar, se expresa como (Murillo et al., 2015):

$$Z(x_o) = \sum \lambda_i * Z(x_i) \quad (24)$$

Con

$Z(x_o)$  : es el valor a predecir.

$\lambda_i$  : son los pesos asignados a cada punto cercano.

$Z(x_i)$  : son los valores medidos.



$$\lambda_i = \frac{d_i^{-p}}{\sum d_i^{-p}} \quad (25)$$

Con

$d_i$  : es la distancia entre el lugar de predicción y el lugar muestral.

P: es un factor de reducción de peso, cuyo valor se encuentra minimizando el error cuadrático medio o error de predicción.

### 3.5.3. Zonificación de intensidades.

Con la cartografía de la región de estudio y el uso de un Sistemas de Información Geográfica (SIG) como lo es el software QGIS, fue posible emplear los métodos antes descritos, a fin de encontrar la variabilidad del evento de precipitación con respecto a la ubicación espacial de la estación que registro dicha lluvia.

Para lo cual, previamente se realizó la comparación de intensidades máximas promedio para cada duración de evento, entre estaciones. Dado que el evento con duración de 5 minutos representaba la mayor variabilidad entre estaciones, se consideró únicamente los valores de dicho evento para cada estación. A continuación, se creó cada uno de los puntos que representan las estaciones georreferenciadas y se realizó el proceso de interpolación, concluyendo con la zonificación de la cuenca media alta del Río Paute.



#### 4. Resultados y Discusión.

Como resultado de la investigación, se obtuvieron ecuaciones para 15 de las 18 estaciones analizadas, de las 3 restantes se tomó directamente la ecuación resultado del estudio de lluvias del INAMHI en 2015.

Se obtuvieron, tanto ecuaciones en función del periodo de retorno y la duración, así como ecuaciones en función de la intensidad diaria y la duración. Con estas ecuaciones y el análisis estadístico de interpolación se generó el mapa de zonificación. Esto permitió generar información de lluvias y frecuencias en lugares donde se tenga poca o ninguna información.

Dado que generar ecuaciones que describan la intensidad de cualquier evento de lluvia, genera una sobreestimación en los valores reales, fue necesario el discretizar cada ecuación en intervalos de tiempo, de esta forma observando los valores de los coeficientes  $R^2$  y  $R$  que tiene cada ecuación, se concluyó en realizar la división en tres intervalos de 5-30, 30-120 y 120-1440 minutos.

A forma de comparación, se tomó el formato de tabla con la cual INAMHI (2015), expone las ecuaciones de intensidad resultado de su estudio de lluvias. Mostrando la estación a la cual pertenece dicha ecuación, el intervalo de tiempo valido para la ecuación, así como el valor de sus coeficientes  $R^2$  y  $R$ .

##### 4.1. Ecuación de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno.

Al momento de calcular las ecuaciones de intensidad en función del periodo de retorno y la duración, en el intervalo de 5 a 1440 minutos, se observó discrepancia de más del 30% del valor de intensidad calculada respecto a la intensidad real, obteniendo valores de  $R^2$  de hasta 0.75. Por lo cual con la discretización de cada ecuación en sub-intervalos de tiempo, se redujo el error a un 5% en el evento con mayor variación. A continuación, en la Tabla 4.1 se muestran las ecuaciones resultantes para cada estación en intervalos de tiempo.



Estación		Intervalo (minutos)	Ecuación		R	R <sup>2</sup>
Código	Nombre					
CS	Cancán-Soldados	5<30	$I = 50.225$	$xT = 0.2641$ $x t = -0.3721$	0.9871	0.9672
		30<120	$I = 235.990$	$xT = 0.2503$ $x t = -0.8204$	0.9959	0.9996
		120<1440	$I = 296.853$	$xT = 0.1545$ $x t = -0.8105$	0.9977	0.9979
GP	Gualaceo D.J. Pamar	5<30	$I = 89.950$	$xT = 0.2598$ $x t = -0.3281$	0.9936	0.9920
		30<120	$I = 503.005$	$xT = 0.2459$ $x t = -0.8192$	0.9956	0.9967
		120<1440	$I = 1018.522$	$xT = 0.1785$ $x t = -0.9282$	0.9987	0.9954
LE	La Esmeralda	5<30	$I = 71.209$	$xT = 0.1361$ $x t = -0.2810$	0.9934	0.9956
		30<120	$I = 249.552$	$xT = 0.1426$ $x t = -0.6376$	0.9944	0.9625
		120<1440	$I = 542.037$	$xT = 0.0989$ $x t = -0.7844$	0.9990	0.9920
MC	Machángara DJ Chulco (Saucay)	5<30	$I = 72.460$	$xT = 0.2322$ $x t = -0.1597$	0.9777	0.8095
		30<120	$I = 593.578$	$xT = 0.2311$ $x t = -0.7796$	0.9916	0.9860
		120<1440	$I = 1642.601$	$xT = 0.1777$ $x t = -0.9692$	0.9987	0.9908
Ji	Jima	5<30	$I = 65.459$	$xT = 0.2241$ $x t = -0.4361$	0.9867	0.9657
		30<120	$I = 101.945$	$xT = 0.1968$ $x t = -0.5534$	0.9973	0.9997
		120<1440	$I = 231.165$	$xT = 0.1791$ $x t = -0.7027$	0.9987	0.9987
TC	Tarqui D.J. Cumbe	5<30	$I = 88.228$	$xT = 0.2274$ $x t = -0.3530$	0.9879	0.9654
		30<120	$I = 395.347$	$xT = 0.2263$ $x t = -0.7813$	0.9961	0.9900
		120<1440	$I = 923.308$	$xT = 0.1550$ $x t = -0.9212$	0.9991	0.9937



Ch	Chanlud	5<30	$I = 35.722$	$0.1186$	$-0.3303$	0.9896	0.9796		
				$xT$	$x t$				
		30<120	$I = 51.127$	$0.1115$	$-0.4537$				
				$xT$	$x t$	0.9910	0.9660		
120<1440	$I = 117.541$	$0.0912$	$-0.6013$						
				$xT$	$x t$			0.9966	0.9962
EP	El Portete	5<30	$I = 89.997$	$0.2421$	$-0.3602$	0.9702	0.8897		
				$xT$	$x t$				
		30<120	$I = 301.808$	$0.2197$	$-0.7274$				
				$xT$	$x t$	0.9966	0.9975		
120<1440	$I = 340.183$	$0.1780$	$-0.7255$						
				$xT$	$x t$			0.9976	0.9968
EL	El Labrado	5<30	$I = 40.766$	$0.1791$	$-0.2840$	0.9975	0.9990		
				$xT$	$x t$				
		30<120	$I = 129.236$	$0.1769$	$-0.6174$				
				$xT$	$x t$	0.9972	0.9956		
120<1440	$I = 243.645$	$0.1414$	$-0.7249$						
				$xT$	$x t$			0.9984	0.9990
UE	Ucubamba en ETAPA	5<30	$I = 165.225$	$0.1398$	$-0.3638$	0.9703	0.9277		
				$xT$	$x t$				
		30<120	$I = 468.372$	$0.1369$	$-0.6739$				
				$xT$	$x t$	0.9957	0.9895		
120<1440	$I = 1749.716$	$0.1109$	$-0.9357$						
				$xT$	$x t$			0.9992	0.9960
Hu	Huagramahuma	5<30	$I = 17.377$	$0.2293$	$-0.2422$	0.9907	0.9707		
				$xT$	$x t$				
		30<120	$I = 21.870$	$0.2214$	$-0.3120$				
				$xT$	$x t$	0.9936	0.9923		
120<1440	$I = 75.806$	$0.1651$	$-0.5508$						
				$xT$	$x t$			0.9948	0.9706
Ma	Marianza	5<30	$I = 83.782$	$0.2295$	$-0.4967$	0.9900	0.9774		
				$xT$	$x t$				
		30<120	$I = 102.702$	$0.2170$	$-0.5533$				
				$xT$	$x t$	0.9957	0.9950		
120<1440	$I = 385.550$	$0.1832$	$-0.8009$						
				$xT$	$x t$			0.9982	0.9989
MS	Matadero en Sayausí	5<30	$I = 111.955$	$0.2541$	$-0.3259$	0.9808	0.9298		
				$xT$	$x t$				
		30<120	$I = 485.750$	$0.2304$	$-0.7557$				
				$xT$	$x t$	0.9967	0.9996		
120<1440	$I = 1027.726$	$0.1769$	$-0.8812$						
				$xT$	$x t$			0.9975	0.9956



YP	Yanuncay en Pucán	5<30	$I = 53.211 x T^{0.2167} x t^{-0.3005}$	0.9873	0.9595
		30<120	$I = 219.174 x T^{0.2125} x t^{-0.7224}$	0.9975	0.9983
		120<1440	$I = 384.997 x T^{0.1553} x t^{-0.8038}$	0.9990	0.9960
Sa	Saucay	5<30	$I = 76.544 x T^{0.2506} x t^{-0.2140}$	0.9924	0.9869
		30<120	$I = 584.125 x T^{0.2491} x t^{-0.8006}$	0.9949	0.9888
		120<1440	$I = 1406.084 x T^{0.1642} x t^{-0.9327}$	0.9989	0.9961

Tabla 4.1 Ecuaciones de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno.

#### 4.2. Ecuaciones de Intensidad en función de la intensidad diaria.

Se generó las ecuaciones de intensidad para cada estación, en función de su intensidad diaria y duración. Esto a fin de simplificar el cálculo de la intensidad en regiones con poca información de lluvia. De igual manera, fue necesario el separar a cada ecuación en intervalos de tiempo, y tomando como referencia el formato de tabla del INAMHI (2015), se muestra en la tabla 4.2 las ecuaciones resultantes para cada estación en intervalos de tiempo.



Estación		Intervalo (minutos)	Ecuación	R	R <sup>2</sup>
Código	Nombre				
CS	Cancán-Soldados	5<30	$ITR = 85.360 \times IdTR - 0.3721 \times t$	0.8519	0.9672
		30<120	$ITR = 384.167 \times IdTR - 0.8204 \times t$	0.8988	0.9981
		120<1440	$ITR = 358.040 \times IdTR - 0.8105 \times t$	0.9769	0.9998
GP	Gualaceo D.J. Pamar	5<30	$ITR = 97.658 \times IdTR - 0.3281 \times t$	0.9223	0.9920
		30<120	$ITR = 522.907 \times IdTR - 0.8192 \times t$	0.9533	0.9948
		120<1440	$ITR = 857.388 \times IdTR - 0.9282 \times t$	0.9886	0.9997
LE	La Esmeralda	5<30	$ITR = 43.833 \times IdTR - 0.2810 \times t$	0.9759	0.9956
		30<120	$ITR = 156.763 \times IdTR - 0.6376 \times t$	0.9866	0.9606
		120<1440	$ITR = 296.996 \times IdTR - 0.7844 \times t$	0.9986	0.9990
MC	Machángara DJ Chulco (Saucay)	5<30	$ITR = 59.478 \times IdTR - 0.1597 \times t$	0.9361	0.8095
		30<120	$ITR = 485.443 \times IdTR - 0.7796 \times t$	0.9603	0.9832
		120<1440	$ITR = 1136.794 \times IdTR - 0.9692 \times t$	0.9898	0.9997
Ji	Jima	5<30	$ITR = 56.072 \times IdTR - 0.4361 \times t$	0.9758	0.9657
		30<120	$ITR = 80.154 \times IdTR - 0.5534 \times t$	0.9977	0.9999
		120<1440	$ITR = 171.974 \times IdTR - 0.7027 \times t$	0.9994	0.9943
TC	Tarqui D.J. Cumbe	5<30	$ITR = 94.544 \times IdTR - 0.3530 \times t$	0.9281	0.9654
		30<120	$ITR = 422.210 \times IdTR - 0.7813 \times t$	0.9597	0.9881
		120<1440	$ITR = 788.754 \times IdTR - 0.9212 \times t$	0.9938	0.9996



Ch	Chanlud	5<30	ITR = 26.006 x IdTR x t	-0.3303	0.9686	0.9796
		30<120	ITR = 36.398 x IdTR x t	-0.4537	0.9609	0.9631
		120<1440	ITR = 78.541 x IdTR x t	-0.6013	0.9953	0.9945
EP	El Portete	5<30	ITR = 64.338 x IdTR x t	-0.3602	0.9295	0.8897
		30<120	ITR = 201.137 x IdTR x t	-0.7274	0.9789	0.9986
		120<1440	ITR = 199.018 x IdTR x t	-0.7255	0.9934	0.9981
EL	El Labrado	5<30	ITR = 36.639 x IdTR x t	-0.2840	0.9560	0.9990
		30<120	ITR = 115.372 x IdTR x t	-0.6174	0.9706	0.9946
		120<1440	ITR = 194.610 x IdTR x t	-0.7249	0.9912	0.9988
UE	Ucubamba en ETAPA	5<30	ITR = 92.453 x IdTR x t	-0.3638	0.9461	0.9277
		30<120	ITR = 259.757 x IdTR x t	-0.6739	0.9846	0.9913
		120<1440	ITR = 894.573 x IdTR x t	-0.9357	0.9974	0.9998
Hu	Huagramahuma	5<30	ITR = 14.331 x IdTR x t	-0.2422	0.9577	0.9707
		30<120	ITR = 17.597 x IdTR x t	-0.3120	0.9665	0.9927
		120<1440	ITR = 51.137 x IdTR x t	-0.5508	0.9897	0.9846
Ma	Marianza	5<30	ITR = 86.187 x IdTR x t	-0.4967	0.9481	0.9774
		30<120	ITR = 101.605 x IdTR x t	-0.5533	0.9629	0.9972
		120<1440	ITR = 343.200 x IdTR x t	-0.8009	0.9880	0.9955
MS	Matadero en Sayausí	5<30	ITR = 80.124 x IdTR x t	-0.3259	0.9433	0.9298
		30<120	ITR = 322.719 x IdTR x t	-0.7557	0.9802	0.9995
		120<1440	ITR = 577.640 x IdTR x t	-0.8812	0.9960	0.9993



YP	Yanuncay en Pucán	5<30	$ITR = 56.966 \times IdTR \times t^{-0.3005}$	0.9490	0.9595
		30<120	$ITR = 231.596 \times IdTR \times t^{-0.7224}$	0.9704	0.9992
		120<1440	$ITR = 340.196 \times IdTR \times t^{-0.8038}$	0.9965	0.9997
Sa	Saucay	5<30	$ITR = 63.321 \times IdTR \times t^{-0.2140}$	0.8908	0.9869
		30<120	$ITR = 480.890 \times IdTR \times t^{-0.8006}$	0.9332	0.9844
		120<1440	$ITR = 887.685 \times IdTR \times t^{-0.9327}$	0.9868	0.9998

Tabla 4.1 Ecuaciones de Intensidad en función de la intensidad diaria y la duración.

Al calcular las ecuaciones de intensidad en función de la intensidad diaria y la duración del evento, en el intervalo de 5 a 1440 minutos, se observó discrepancia de más del 40% del valor de intensidad calculada respecto a la intensidad real, para el mayor valor. Así se notó, que al realizar el análisis de correlación lineal múltiple con un número menor de variables, el resultado final termina sobreestimando los valores de intensidad real. Se planteó reducir el error discretizando cada ecuación en sub-intervalos de tiempo, de esta forma la discrepancia de valores se redujo a un 12% en el evento con mayor variación.

### 4.3. Interpolación espacial.

La interpolación espacial de los valores de intensidad obtenidos para cada estación georreferenciada, fue realizada con los dos métodos descritos en el Capítulo 3 de la presente investigación. Mediante archivos shape y el uso del software QGis, fue posible la elaboración de los mapas que permitieron la delimitación de regiones para la posterior zonificación. A continuación a forma de comparación, en la Figura 4.3, se evidencia la diferencia que tiene cada método al momento de generar mapas a partir de la interpolación espacial de variables.

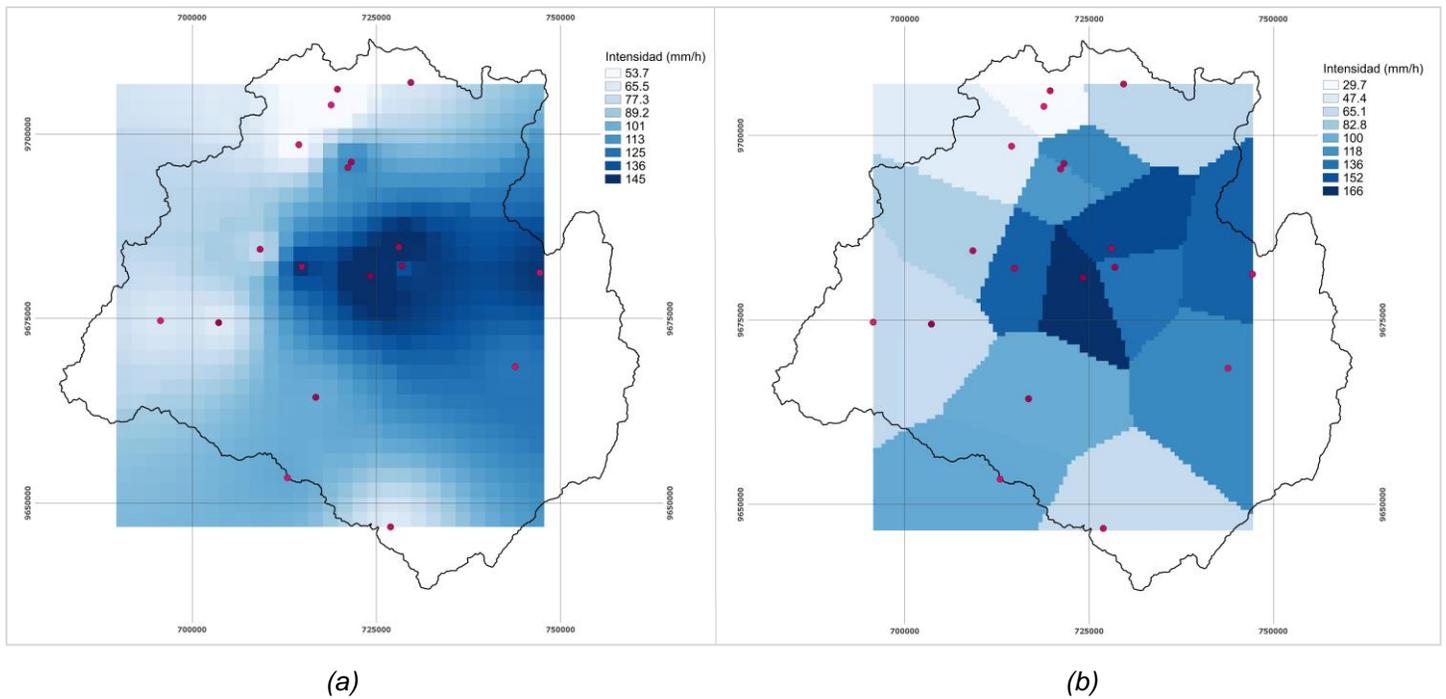


Figura 4.3 Resultados de la interpolación espacial. (a) Método de Distancia inversa ponderada (IDW). (b) Método de Análisis del vecino más cercano.

Comparando los mapas resultantes con ambos métodos, resulta que el mejor método para este tipo de estudio, es el de Análisis de vecino más cercano, ya que permite observar de mejor manera el contraste existente entre cada zona, permitiendo que la zonificación se haga de manera efectiva. Dado que el mapa generado a partir del método Distancia Inversa Ponderada (IDW), contiene un mayor suavizado al categorizar las variables de intensidad, no permite delimitar zonas. También se notó que, al momento de interpolar, el método IDW tomó un rango más pequeño de intensidades, omitiendo así las intensidades máximas y mínimas reales.



#### 4.4. Generación del mapa de zonificación del área de estudio.

Con el método seleccionado del Análisis del vecino más cercano y el uso del software QGis, se realizó la delimitación de cada zona, observando las variaciones de intensidades en cada región cercana a las estaciones. De esta forma se obtuvieron 14 zonas para la cuenca media alta del Río Paute, en las cuales se seleccionó la ecuación de la estación con el mayor número de datos posibles. En la Figura 4.4 se encuentra la delimitación de zonas, resultado de la presente investigación y a continuación en la Tabla 4.4 se encuentran las zonas con sus respectivas estaciones y ecuaciones.

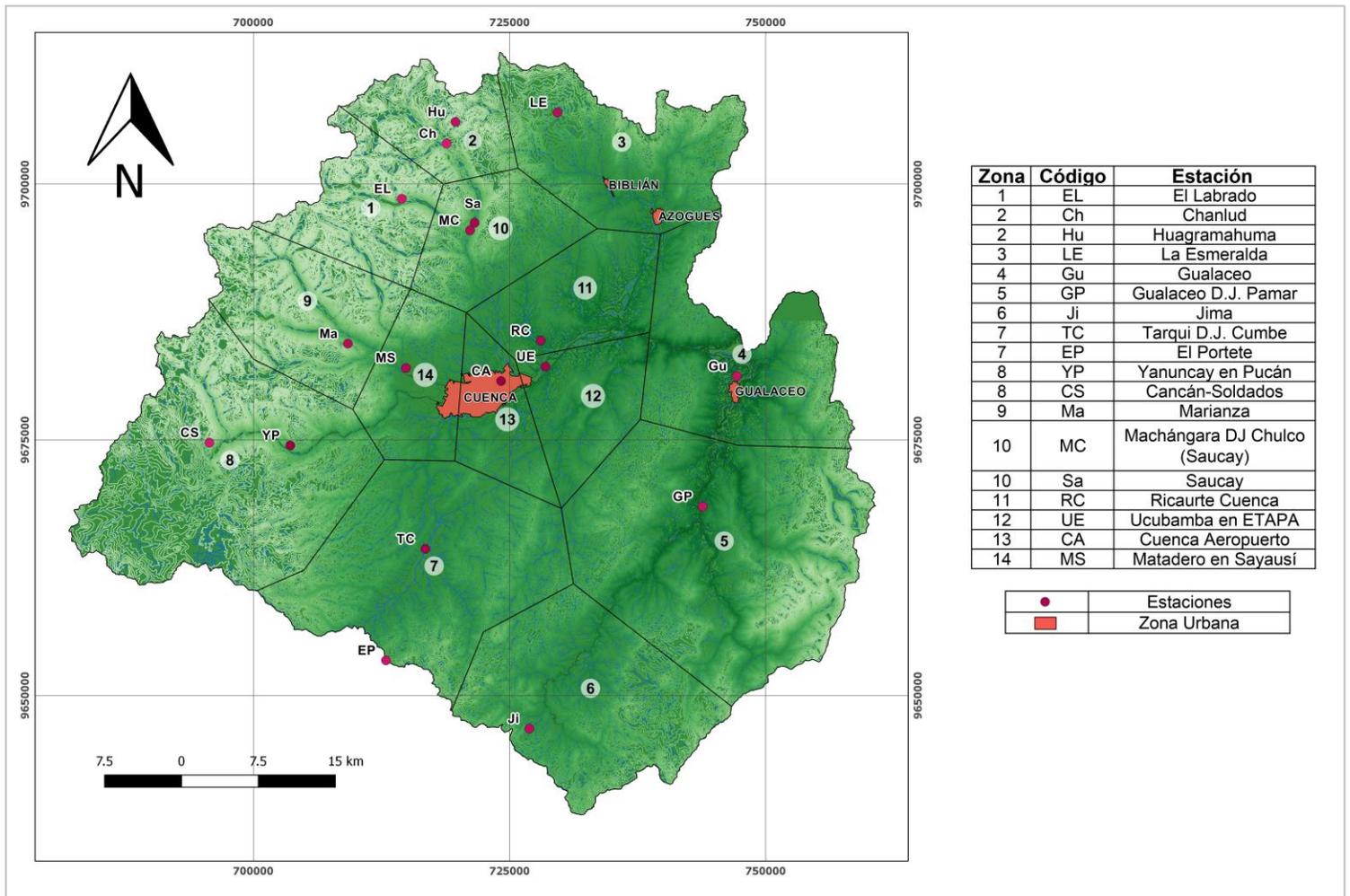


Figura 4.4 Mapa de zonificación de intensidades, en la cuenca media alta del Río Paute.



Zona	Código	Estación	Intervalo (minutos)	Ecuación	R <sup>2</sup>
1	EL	El Labrado	5<30	$I_{TR} = 36.639 \times I_{dTR} \times t - 0.2840$	0.9990
			30<120	$I_{TR} = 115.372 \times I_{dTR} \times t - 0.6174$	0.9946
			120<1440	$I_{TR} = 194.610 \times I_{dTR} \times t - 0.7249$	0.9988
2	Hu	Huagrahuma	5<30	$I_{TR} = 14.331 \times I_{dTR} \times t - 0.2422$	0.9707
			30<120	$I_{TR} = 17.597 \times I_{dTR} \times t - 0.3120$	0.9927
			120<1440	$I_{TR} = 51.137 \times I_{dTR} \times t - 0.5508$	0.9846
3	LE	La Esmeralda	5<30	$I_{TR} = 43.833 \times I_{dTR} \times t - 0.2810$	0.9956
			30<120	$I_{TR} = 156.763 \times I_{dTR} \times t - 0.6376$	0.9606
			120<1440	$I_{TR} = 296.996 \times I_{dTR} \times t - 0.7844$	0.9990
4	Gu	Gualaceo	5<51.88	$I_{TR} = 125.440 \times I_{dTR} \times t - 0.4340$	0.9935
			51.88<1440	$I_{TR} = 892.870 \times I_{dTR} \times t - 0.9310$	0.9992
5	GP	Gualaceo D.J. Pamar	5<30	$I_{TR} = 97.658 \times I_{dTR} \times t - 0.3281$	0.9920
			30<120	$I_{TR} = 522.907 \times I_{dTR} \times t - 0.8192$	0.9948
			120<1440	$I_{TR} = 857.388 \times I_{dTR} \times t - 0.9282$	0.9997
6	Ji	Jima	5<30	$I_{TR} = 56.072 \times I_{dTR} \times t - 0.4361$	0.9657
			30<120	$I_{TR} = 80.154 \times I_{dTR} \times t - 0.5534$	0.9999
			120<1440	$I_{TR} = 171.974 \times I_{dTR} \times t - 0.7027$	0.9943
7	EP	El Portete	5<30	$I_{TR} = 64.338 \times I_{dTR} \times t - 0.3602$	0.8897
			30<120	$I_{TR} = 201.137 \times I_{dTR} \times t - 0.7274$	0.9986
			120<1440	$I_{TR} = 199.018 \times I_{dTR} \times t - 0.7255$	0.9981



8	YP	Yanuncay en Pucán	5<30	$l_{TR} = 56.966 \times l_{dTR} \times t$	-0.3005	0.9595
			30<120	$l_{TR} = 231.596 \times l_{dTR} \times t$	-0.7224	0.9992
			120<1440	$l_{TR} = 340.196 \times l_{dTR} \times t$	-0.8038	0.9997
9	Ma	Marianza	5<30	$l_{TR} = 86.187 \times l_{dTR} \times t$	-0.4967	0.9774
			30<120	$l_{TR} = 101.605 \times l_{dTR} \times t$	-0.5533	0.9972
			120<1440	$l_{TR} = 343.200 \times l_{dTR} \times t$	-0.8009	0.9955
10	Sa	Saucay	5<30	$l_{TR} = 63.321 \times l_{dTR} \times t$	-0.2140	0.9869
			30<120	$l_{TR} = 480.890 \times l_{dTR} \times t$	-0.8006	0.9844
			120<1440	$l_{TR} = 887.685 \times l_{dTR} \times t$	-0.9327	0.9998
11	RC	Ricaurte Cuenca	5<30.11	$l_{TR} = 135.570 \times l_{dTR} \times t$	-0.4570	0.9878
			30.11<1440	$l_{TR} = 618.670 \times l_{dTR} \times t$	-0.8740	0.9948
12	UE	Ucubamba en ETAPA	5<30	$l_{TR} = 92.453 \times l_{dTR} \times t$	-0.3638	0.9277
			30<120	$l_{TR} = 259.757 \times l_{dTR} \times t$	-0.6739	0.9913
			120<1440	$l_{TR} = 894.573 \times l_{dTR} \times t$	-0.9357	0.9998
13	CA	Cuenca Aeropuerto	5<50.9	$l_{TR} = 123.390 \times l_{dTR} \times t$	-0.4520	0.9882
			50.9<1440	$l_{TR} = 695.370 \times l_{dTR} \times t$	-0.8920	0.9969
14	MS	Matadero en Sayausí	5<30	$l_{TR} = 80.124 \times l_{dTR} \times t$	-0.3259	0.9298
			30<120	$l_{TR} = 322.719 \times l_{dTR} \times t$	-0.7557	0.9995
			120<1440	$l_{TR} = 577.640 \times l_{dTR} \times t$	-0.8812	0.9993

Tabla 4.4 Ecuaciones de intensidad, resultado de la zonificación de la cuenca media alta del Río Paute.

Las ecuaciones seleccionadas para las zonas 4, 11 y 13, fueron tomadas directamente del estudio hecho por INAMHI en 2015, estas corresponden a las estaciones de Gualaceo, Ricaurte Cuenca y Cuenca Aeropuerto. Esto fue debido a



que no fue posible obtener datos de los registros de las estaciones, sino solo información ya procesada.

#### 4.5. Comparación y discusión de resultados.

A continuación se realizó una comparativa de los resultados obtenidos en la presente investigación y los resultados del estudio de lluvias intensas del INAMHI en 2015. Esto a fin de demostrar la importancia que tiene la investigación más profunda de las variables meteorológicas, así como el error que se comete al generalizar eventos de lluvia en áreas demasiado grandes.

El estudio hecho por el INAMHI en 2015, concluyó que para la región de interés (Cuenca media alta del Río Paute) existen aproximadamente 7 zonas. Si comparamos con la actual investigación, el número de zonas se duplica, reduciendo el área de aplicación de cada ecuación, así como el error en la estimación. En la Figura 4.5 se observa la zonificación aproximada para la región de investigación, resultado del estudio hecho por INAHMI (2015).

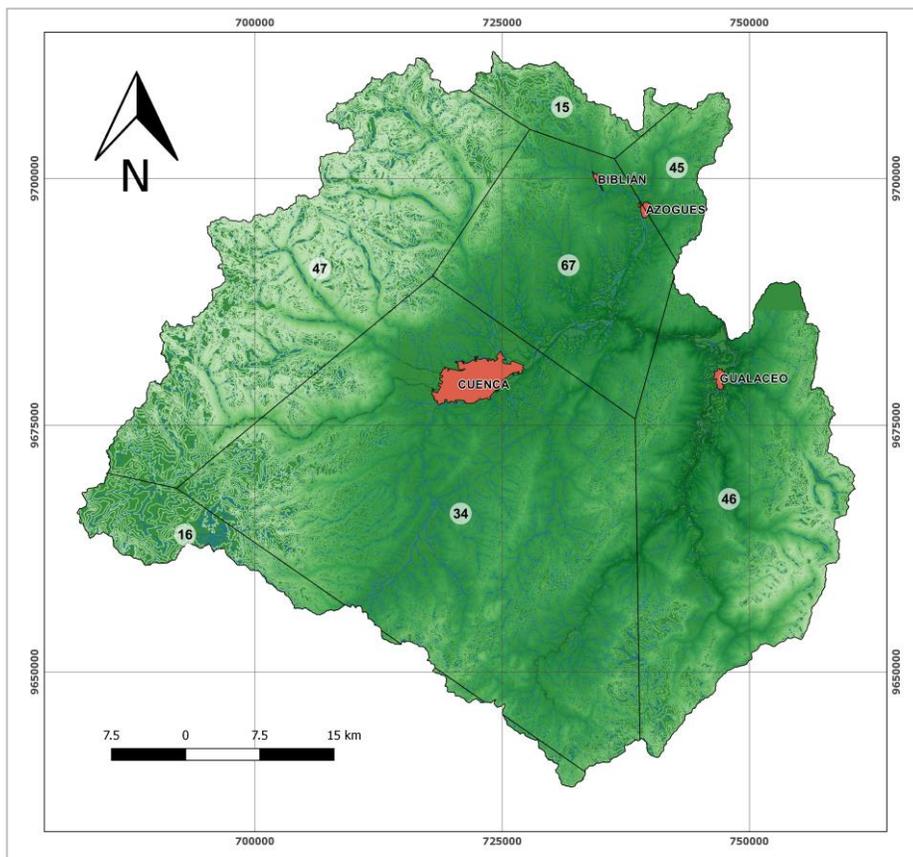


Figura 4.5 Zonificación de la región de investigación según el INAMHI, 2015.



De manera general el estudio del INAMHI, se realizó a partir de la recolección y el posterior análisis de datos de 291 estaciones pluviométricas y pluviográficas, calculando las ecuaciones de intensidad para cada una y mediante el uso de interpolación estadística con el método de Cressman, se logró dividir al país en 72 zonas.

Para la comparación, a partir de la Figura 4.5, se ha seleccionado la zona 34, la cual se puede observar que abarca toda la ciudad de Cuenca, así como gran parte de la cuenca alta del Río Paute, para esta zona INAMHI toma la ecuación de la estación Cuenca Aeropuerto, la cual pese a tener un largo periodo de registro (42 años), abarca una zona demasiado grande.

En cambio en la presente investigación (Figura 4.4) en la misma región, existen 7 zonas con diferentes ecuaciones de intensidad, de estas se ha tomado la zona 14 la cual tiene como ecuación de intensidad la de la estación Matadero en Sayausí, con un periodo de 19 años de registro. En la Tabla 4.5a se muestran las ecuaciones de intensidad de las dos estaciones a comparar.

Estación	Intervalo (minutos)	Ecuación	R <sup>2</sup>
Matadero en Sayausí	5<30	$ITR = 80.124 \times IdTR \times t^{-0.326}$	0.929
	30<120	$ITR = 322.719 \times IdTR \times t^{-0.756}$	0.999
	120<1440	$ITR = 577.640 \times IdTR \times t^{-0.881}$	0.999
Cuenca Aeropuerto	5<50.9	$ITR = 123.390 \times IdTR \times t^{-0.452}$	0.988
	50.9<1440	$ITR = 695.370 \times IdTR \times t^{-0.892}$	0.997

Tabla 4.5a Ecuaciones de Intensidad.

Cabe recalcar que la ecuación de la estación Cuenca Aeropuerto, fue tomada del estudio de lluvias intensas del INAMHI (2015), para la presente investigación esta estación y su ecuación, se encuentran limitadas para una zona diferente.

Para demostrar cómo ha sido realizada la comparativa de valores de intensidad, en forma de ejemplo, se seleccionó la intensidad para eventos con duración de 20 y 360 minutos, para periodos de retorno de 25 y 100 años y se ha encontrado el error existente entre los valores calculados para esta región, con el uso de: distribuciones de probabilidad, ecuaciones de intensidad de la estación Matadero en Sayausí y las ecuaciones de intensidad de la estación Cuenca Aeropuerto. A continuación en la Tabla 4.5b se muestra la comparativa de valores de intensidad calculados.



Método	Tr (años)	Intensidad (mm/h)			
		20 min.	Error %	360 min.	Error %
Distribución de Probabilidad	25	102.517	-	10.193	-
Ecuación de intensidad de Cuenca Aeropuerto		86.653	15.47	9.921	2.67
Ecuación de intensidad de Matadero en Sayausí		95.999	6.36	10.268	0.73
Distribución de Probabilidad	100	135.888	-	12.578	-
Ecuación de intensidad de Cuenca Aeropuerto		102.899	24.28	11.781	6.33
Ecuación de intensidad de Matadero en Sayausí		114.341	15.86	12.230	2.77

Tabla 4.5b Comparativa de valores de intensidad para la zona 14.

Se ha tomado el valor de intensidad calculado con distribuciones de probabilidad, como el valor más aproximado a la realidad, de tal forma que este es el valor de referencia para calcular el error sistemático (en porcentaje) existente con el uso de las ecuaciones de cada estación.

Como se puede observar en la Tabla 4.5b, el error existente al usar la estación de Cuenca Aeropuerto para la zona 14, es mayor que la calculada con la estación de Matadero en Sayausí, pues la primera estación se encuentra más alejada de la zona en la cual se emplea. Esto hace que se cometa un mayor error al estimar la intensidad de cualquier evento extremo existente en dicha zona.

Así, para un periodo de retorno de 100 años, el error para la estación de Cuenca Aeropuerto es del 24%, en cambio para la estación de Matadero en Sayausí tenemos un error del 16%, reduciendo el error en un 8%.

Este análisis comparativo se realizó para las 14 zonas, en las que se ha dividido a la cuenca media alta del Río Paute. Resultando que gran parte de los valores de intensidad calculados con el estudio del INAMHI (2015), subestiman los valores reales de intensidad, especialmente en eventos extremos de pequeña duración.

Se observa que pese a que el error al estimar intensidades utilizando los resultados de la presente investigación, es menor, este no deja de ser considerable. Debido en gran parte a que la serie de datos usados, en promedio tienen un periodo de 13 años, el cual se considera una limitante para estimar intensidades con un periodo de retorno elevado. La organización Meteorología Mundial (OMM), recomienda una serie mínima de 30 años para una mayor fiabilidad en la determinación de este tipo de modelos de ecuaciones.



## 5. Conclusiones y Recomendaciones.

Con la presente investigación se pretende completar y actualizar la información existente sobre eventos de precipitación en la región comprendida por la cuenca media alta del Río Paute. De tal forma que considerando los resultados de la investigación se pueda mejorar la calidad en la realización de estudios hídricos a la vez que ejecutar cualquier obra con una mayor fiabilidad frente a eventos máximos.

Conociendo el estudio hecho por INAMHI en 2015, se consideró necesario el realizar esta investigación, a fin de reducir el error que conlleva tomar zonas de intensidad demasiado amplias, así como el usar estaciones muy lejanas. Entonces se logró realizar la zonificación de intensidades en la región de la cuenca media alta del Río Paute, aumentando las zonas de 7 (INAMHI, 2015) a 14.

Al momento de analizar los eventos máximos de precipitación, se observó que las precipitaciones que tienen un efecto más adverso, son las lluvias con la mayor intensidad y menor duración posible, quedando así la parte más fuerte en los primeros 30 minutos del evento.

En términos generales, el método de Análisis del vecino más cercano resulta ser el más adecuado para generar el mapa que describa la distribución espacial de áreas con diferente valor de intensidad. Sin embargo, en otro tipo de estudio es necesario realizar un análisis más detallado de las variables que se quieran investigar, teniendo en cuenta la ocurrencia de mayor cantidad de datos, así como el uso de otros métodos de interpolación.

Se contó con registros instantáneos de 13 estaciones, información procesada de lluvias máximas de 2 estaciones y ecuaciones de intensidad ya calculadas de 3 estaciones. Todo esto permitió el análisis completo de la mayoría de información. Se debe tomar en cuenta que el periodo medio en la serie datos fue de 13 años, lo cual generara errores al tomar intensidades para periodos de retorno muy elevados, por lo que se recomienda el uso de mayor número de estaciones y un estudio más profundo.

El avance en el uso de herramientas computacionales basadas en SIG, en nuestro caso el software QGis, ha sido de gran ayuda para el tratamiento de la información, así como la zonificación mediante métodos de interpolación estadística.

Es recomendable el uso de varios métodos para el cálculo de intensidades, pues esto permitirá comparar los resultados obtenidos, así como seleccionar el método más confiable para este tipo de variable meteorológica. Para la construcción de curvas IDF, en esta investigación se comparó los resultados obtenidos con la distribución de probabilidad Normal y Gumbel. Resultando para cada estación, una distribución diferente.



Se considera que el presente trabajo de investigación aplicada, es de gran importancia para el desarrollo de la región, pues al momento de emplazar cualquier obra o realizar cualquier estudio hidrometeorológico, permite ajustar los valores de diseño y tener mayor confianza en las acciones a implementar.

Se proporciona un estudio actualizado de eventos máximos de precipitación y su variabilidad espacial. A la vez que se recomienda el uso de las ecuaciones encontradas a fin de estimar intensidades en zonas con poca o deficiente información meteorológica, pues como se indicó en capítulos anteriores, las ecuaciones presentan un rango de error menor, esto gracias a que cada ecuación abarca un área más pequeña.

Se recomienda el incremento de puntos de monitoreo en la región, así como en el país, especialmente en zonas elevadas, pues es el lugar en el cual se genera mayor cantidad de escorrentía y con esta gran parte de los eventos de crecida. Esto a fin de conocer la ocurrencia de eventos extremos, así como el ejecutar soluciones oportunas, evitando pérdidas humanas tanto como económicas.

Es de sumo interés, el impulsar diferentes estudios hidrometeorológicos en la región, pues permitirán mejorar el conocimiento científico de las lluvias y la manera en cómo se presentan. De tal forma que se recomienda emprender investigaciones posteriores, las cuales permitan ampliar y completar la información obtenida por la presente investigación, profundizando en la forma en la que se procesan los datos, así como en los usos de distintos métodos de interpolación estadística.



## 6. Referencias.

- Aguilera Navarro, M. A., & Pizarro Tapia, R. (2007). Estimacion de funciones de distribucion de probabilidad, para caudales maximos, en la Region del Maule. article.
- Aparicio, M. (1994). Fundamentos de hidrología de superficie. Francisco Javier Aparicio Mijares.
- Barbancho, A. C. (1998). Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la provincia de Cáceres. *Norba. Revista de Geografía*, (10), 23–34. article.
- Basabe, P., Almeida, E., Ramón, P., Zeas, R., & Alvarez, L. (1996). Avance en la prevención de desastres naturales en la cuenca del rio Paute, Ecuador. *Bull. Inst. Fr. Études Andines*, 25(3), 443–458. article.
- Calle Urgilés, G. M. (2015). *Análisis espacio-temporal de precipitaciones e intensidades: obtención de histogramas de diseño en la cuenca alta del Río Paute* (article). Universidad de Cuenca.
- Celleri, R., Willems, P., Buytaert, W., & Feyen, J. (2007). Space-time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(24), 3316–3327. article.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R. M., Saldarriaga, L. W., Juan, G., & others. (1994). *Hidrología aplicada* (techreport).
- Corredor, J., & others. (2014). Aplicación de métodos de interpolación para el cálculo de precipitación por modelamiento geoestadístico y análisis espacial para el departamento de Cundinamarca. article.
- Donoso Correa, M. E. (2002). La cuenca del rio Paute: diagnóstico y propuesta de manejo integral. Políticas de desarrollo agropecuario. article.
- INAMHI. (1999). Estudio de lluvias intensas. *Instituto Nacional de Meteorología E Hidrología. Quito - Ecuador*.
- INAMHI. (2012). Estudio preliminar de lluvias intensas.
- INAMHI. (2015). Determinacion de ecuaciones para el calculo de intensidades maxias de precipitacion. *Actualizacion Del Estudio de Lluvias Intensas*.
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2015). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *Ingenierías USBmed*, 3(1), 62–68. article.



- Olaya, V. (2009). Sistemas de información geográfica. *Cuadernos Internacionales de Tecnología Para El Desarrollo Humano*. article.
- Pereyra-Díaz, D., Ochoa-Martínez, C. A., & Pérez-Sesma, J. A. A. (2005). Ecuaciones de lluvia intensa generalizada para obtener precipitaciones máximas de corta duración.
- Pizarro, R., Sangüesa, C., & Martínez, E. (2003). Módulo 2 Curvas Intensidad Duracion y Frecuencia. *Sociedad Estándares de Ingeniería Para Aguas Y Suelos LTDA*. article.
- Pourrut, O.P., & others. (1995). El agua en el Ecuador. misc, Quito-Ecuador: ORSTOM.
- Universida de Sevilla, (2011). Coeficiente de Correlación Lineal de Person. <http://kovachi.sel.inf.uc3m.es/@api/deki/files/141/=correlacion.pdf>
- Tapia, Roberto Pizarro Martínez, Forestal Alejandro Abarza Villanelo, F. J. P. F. (2001). Análisis Comparativo de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en 6 Estaciones Pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). *Chile: Universidad de Talca*. article.
- UNESCO. (2013). Aplicaciones Estadísticas en Hidrología: El Caso de las Intensidades de Precipitación y las Curvas IDF en la Zona Central de Chile. *Documentos Técnicos Del PHI-LAC, N° 31*.



**Anexos.**

**A) Tabla estadística con el valor de “Dt”.**

n	$\alpha$				
	0.200	0.100	0.050	0.020	0.010
1	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.900	0.929
3	0.565	0.636	0.780	0.785	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.734
5	0.447	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.410	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.358	0.410	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.430	0.480	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.489
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.296	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.390	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
16	0.258	0.295	0.327	0.366	0.392
17	0.250	0.286	0.318	0.355	0.381
18	0.244	0.279	0.309	0.346	0.371
19	0.237	0.271	0.301	0.337	0.361
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352

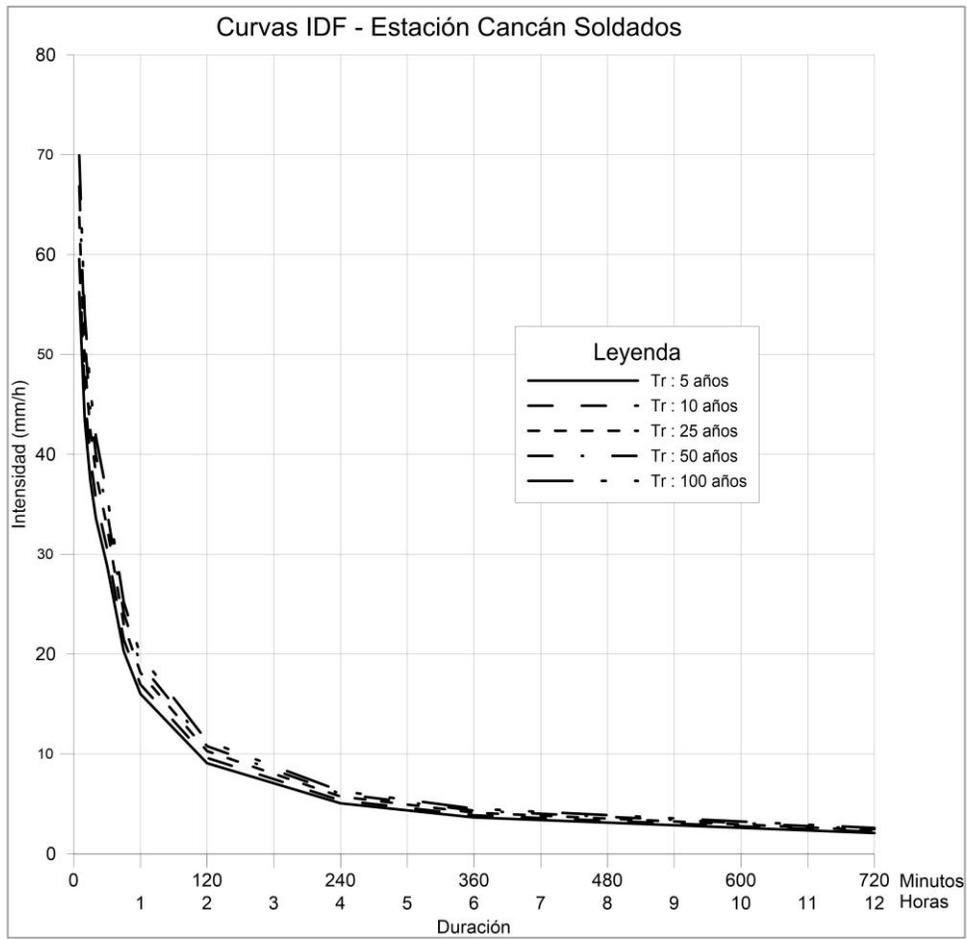
*Tabla A. Estadístico Kolmogorov-Smirmov.*



**B) Curvas IDF.**

**Cuadro 1. Intensidad máxima de la Estación Cancán Soldados  
Cód. CS**

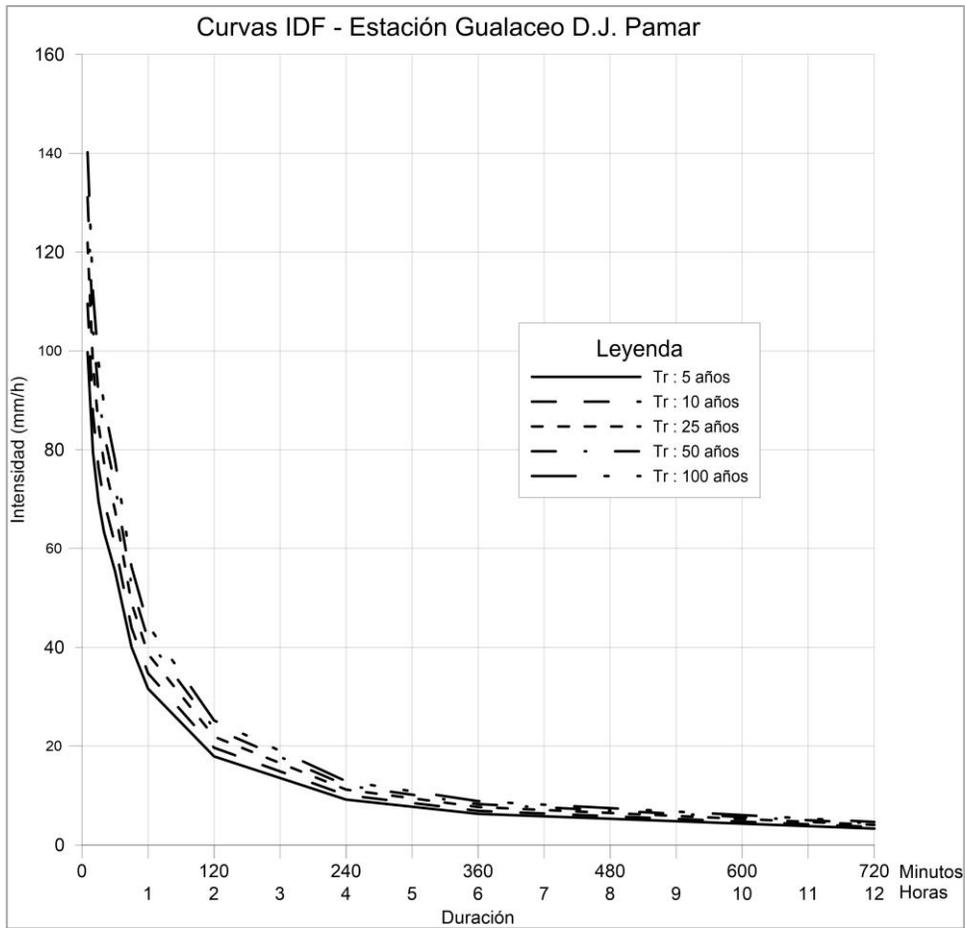
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	56.239	43.455	37.370	33.577	28.875	20.277	16.014	9.068	5.055	3.639	2.075	1.183
10	59.553	46.015	39.572	35.555	30.577	21.472	16.957	9.603	5.353	3.854	2.197	1.253
25	63.739	49.250	42.354	38.055	32.726	22.981	18.150	10.278	5.729	4.125	2.352	1.341
50	66.845	51.650	44.418	39.909	34.321	24.101	19.034	10.778	6.008	4.326	2.466	1.406
100	69.928	54.033	46.467	41.750	35.904	25.213	19.912	11.276	6.285	4.525	2.580	1.471





**Cuadro 2. Intensidad máxima de la Estación Gualaceo D.J. Pamar  
Cód. GP**

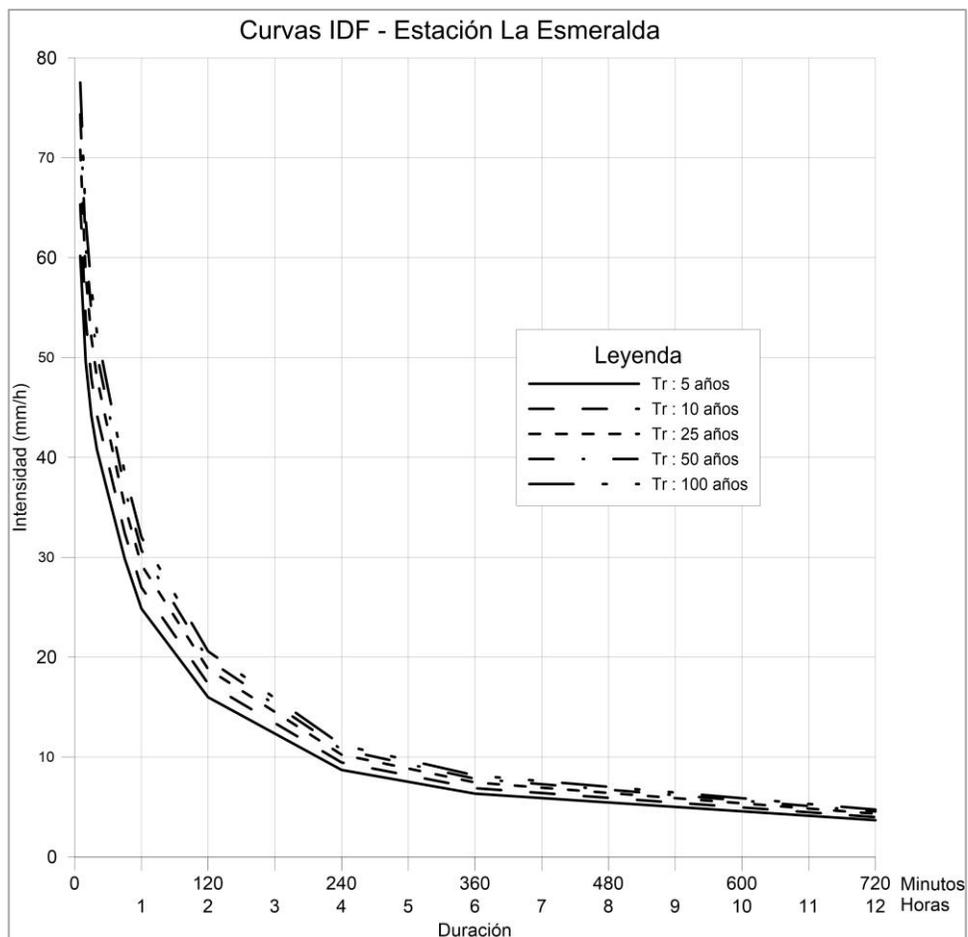
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	99.737	79.451	69.556	63.292	55.409	40.044	31.636	17.930	9.170	6.294	3.308	1.738
10	109.535	87.257	76.389	69.509	60.852	43.978	34.744	19.691	10.071	6.912	3.632	1.909
25	121.915	97.118	85.022	77.365	67.730	48.948	38.671	21.917	11.209	7.693	4.043	2.125
50	131.098	104.434	91.427	83.193	72.832	52.635	41.584	23.568	12.053	8.273	4.348	2.285
100	140.215	111.696	97.785	88.978	77.896	56.296	44.476	25.207	12.891	8.848	4.650	2.444





**Cuadro 3. Intensidad máxima de la Estación La Esmeralda  
Cód. LE**

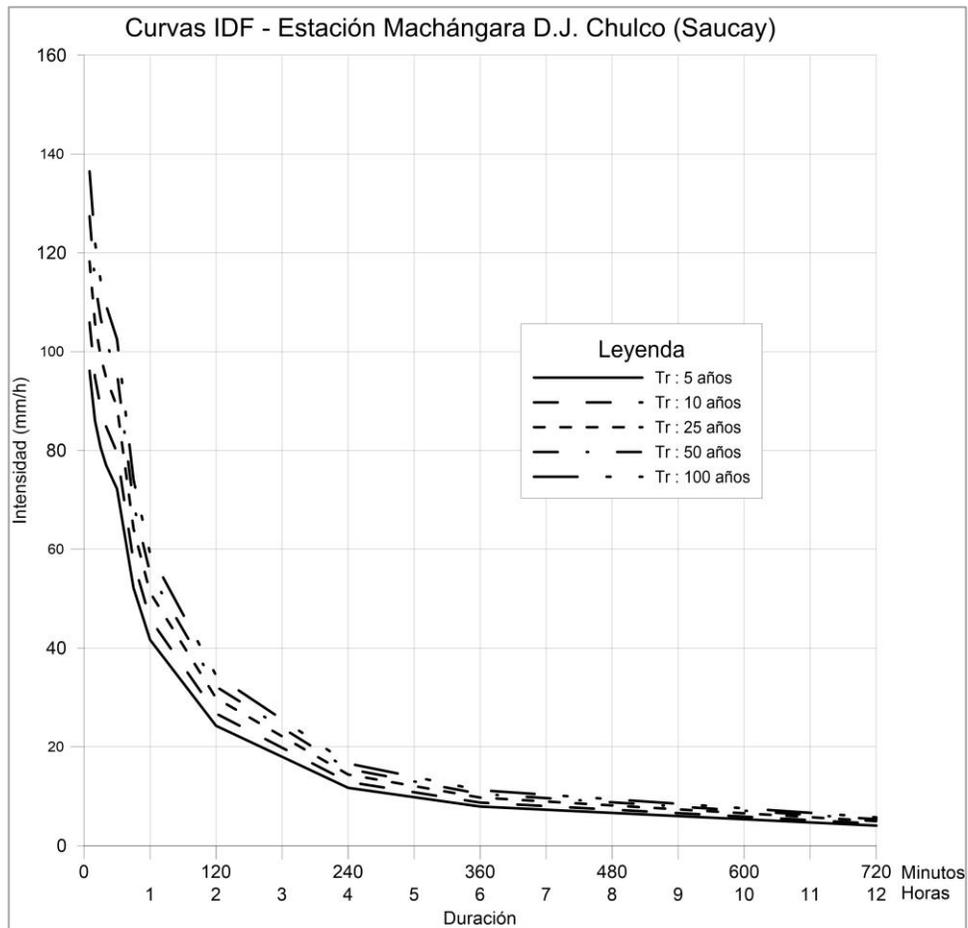
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	60.187	49.534	44.200	40.767	36.377	29.871	24.865	15.982	8.706	6.334	3.677	2.135
10	65.328	53.765	47.975	44.249	39.484	32.422	26.989	17.348	9.449	6.875	3.991	2.317
25	70.808	58.276	52.000	47.962	42.796	35.142	29.253	18.803	10.242	7.452	4.326	2.512
50	74.348	61.189	54.599	50.359	44.936	36.899	30.715	19.743	10.754	7.824	4.543	2.637
100	77.531	63.809	56.937	52.515	46.860	38.479	32.030	20.588	11.214	8.159	4.737	2.750





**Cuadro 4. Intensidad máxima de la Estación Machángara D.J. Chulco (Saucay)  
Cód. MC**

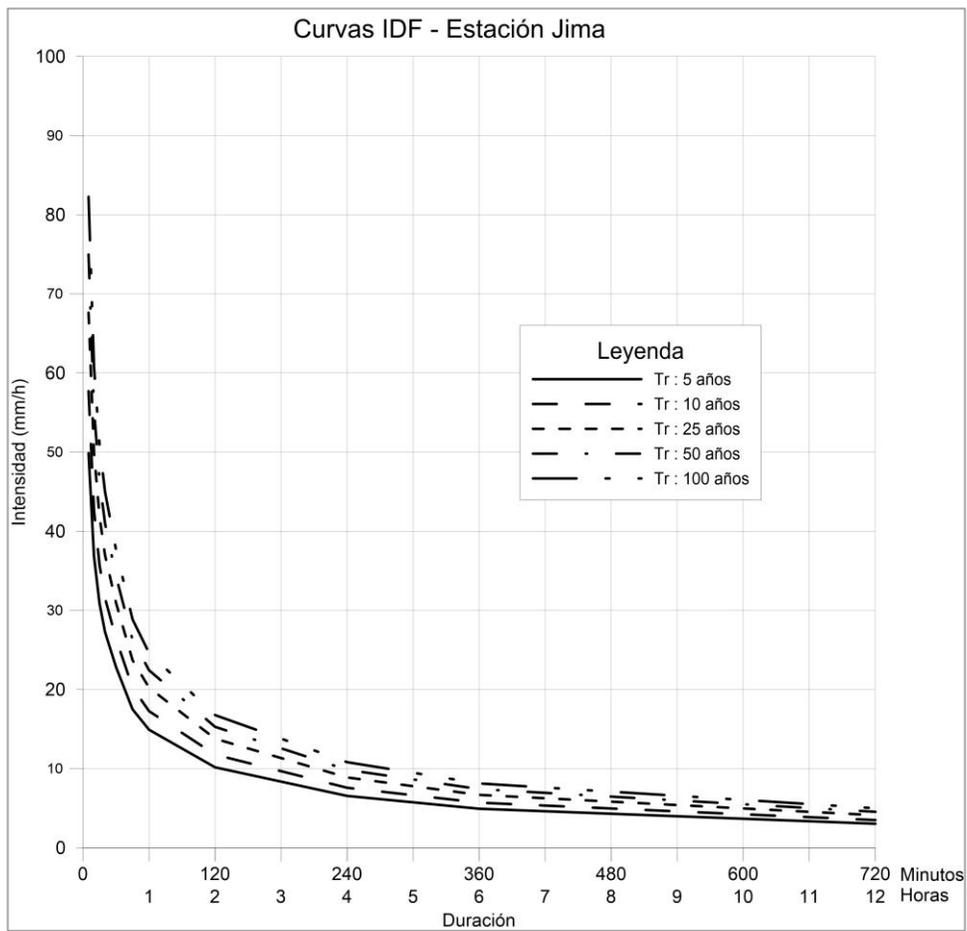
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	96.126	86.054	80.658	77.036	72.206	52.158	41.679	24.278	11.718	7.910	4.040	2.064
10	105.893	94.797	88.854	84.864	79.543	57.458	45.914	26.745	12.909	8.714	4.451	2.273
25	118.234	105.845	99.209	94.754	88.813	64.154	51.265	29.862	14.413	9.730	4.970	2.538
50	127.389	114.041	106.891	102.091	95.690	69.122	55.234	32.175	15.529	10.483	5.355	2.735
100	136.477	122.176	114.516	109.374	102.516	74.053	59.174	34.470	16.637	11.231	5.736	2.930





**Cuadro 5. Intensidad máxima de la Estación Jima  
Cód. Ji**

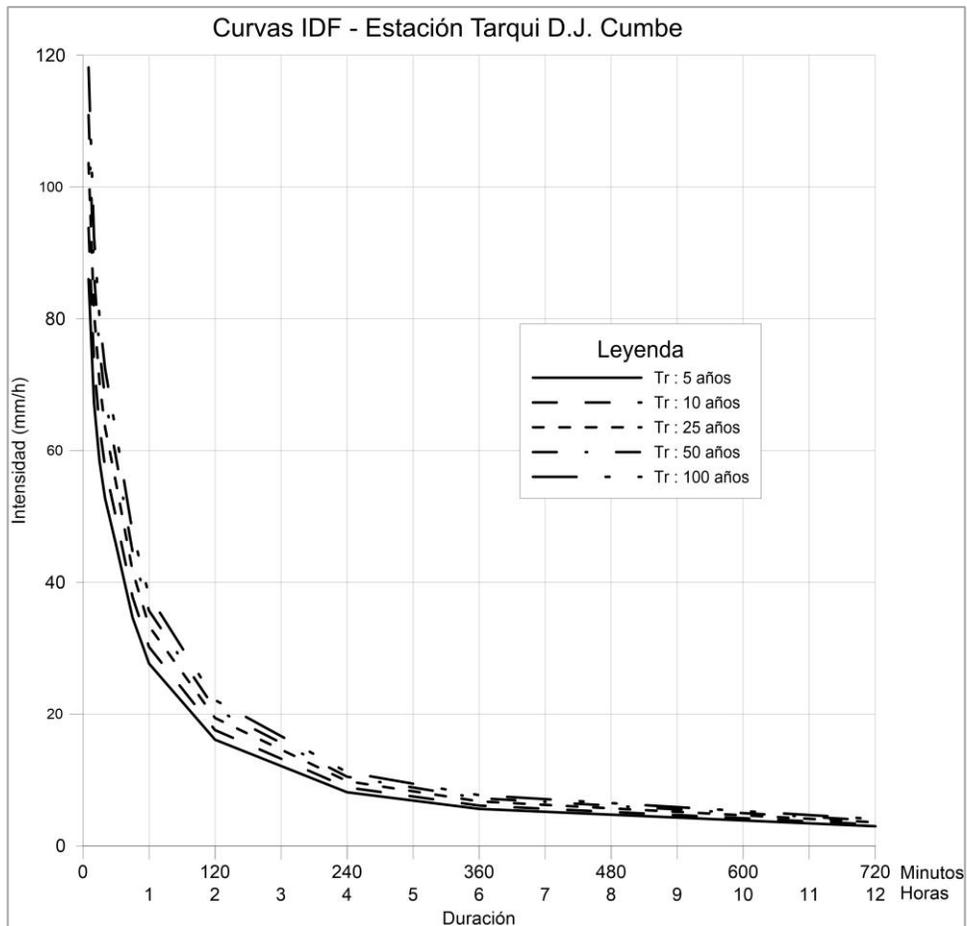
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	49.865	36.858	30.885	27.244	22.829	17.496	14.921	10.168	6.557	4.931	3.030	1.862
10	57.708	42.655	35.742	31.529	26.419	20.247	17.268	11.767	7.588	5.707	3.506	2.154
25	67.616	49.979	41.880	36.942	30.955	23.724	20.233	13.787	8.891	6.687	4.109	2.524
50	74.967	55.412	46.433	40.958	34.321	26.303	22.432	15.286	9.858	7.414	4.555	2.799
100	82.264	60.806	50.952	44.945	37.661	28.863	24.615	16.774	10.817	8.136	4.999	3.071





**Cuadro 6. Intensidad máxima de la Estación Tarqui D.J. Cumbe  
Cód. TC**

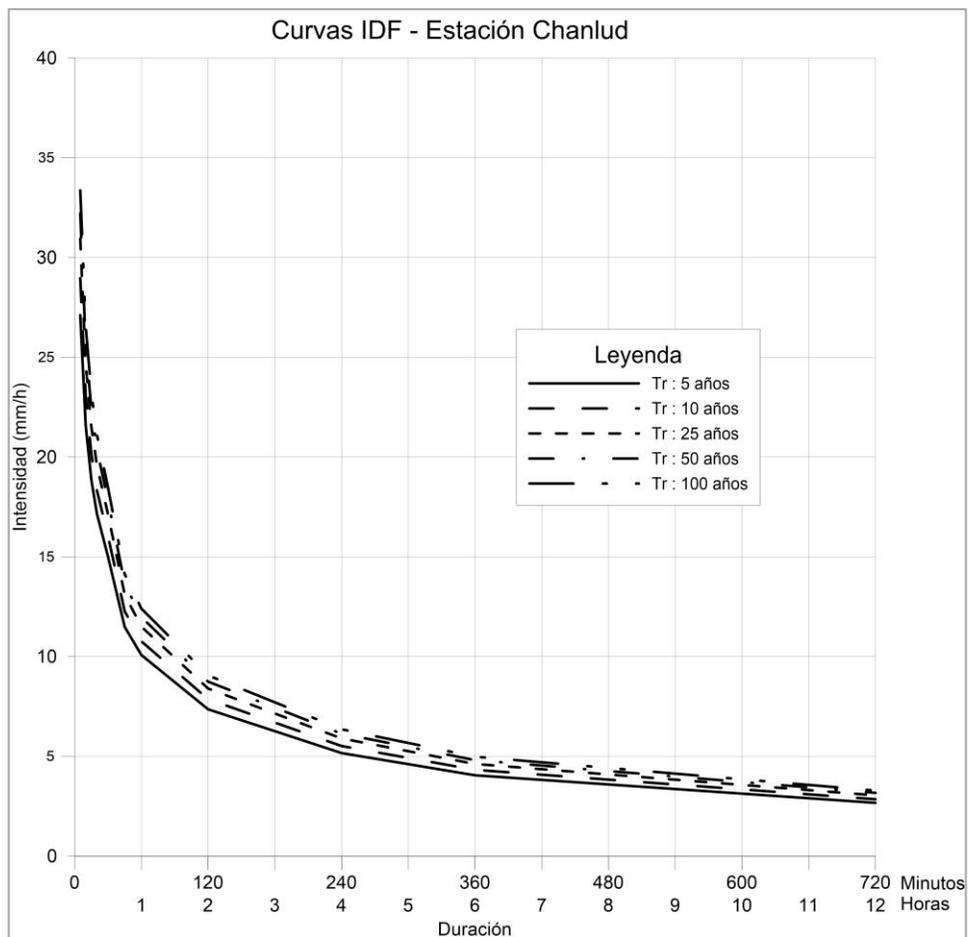
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	86.017	67.348	58.367	52.731	45.700	34.641	27.668	16.099	8.130	5.596	2.955	1.561
10	93.799	73.441	63.648	57.502	49.834	37.775	30.171	17.555	8.865	6.102	3.222	1.702
25	103.631	81.140	70.320	63.530	55.058	41.735	33.334	19.396	9.794	6.742	3.560	1.880
50	110.926	86.851	75.270	68.002	58.934	44.673	35.681	20.761	10.484	7.216	3.811	2.012
100	118.167	92.520	80.183	72.440	62.780	47.589	38.010	22.116	11.168	7.687	4.060	2.144





**Cuadro 7. Intensidad máxima de la Estación Chanlud  
Cód. Ch**

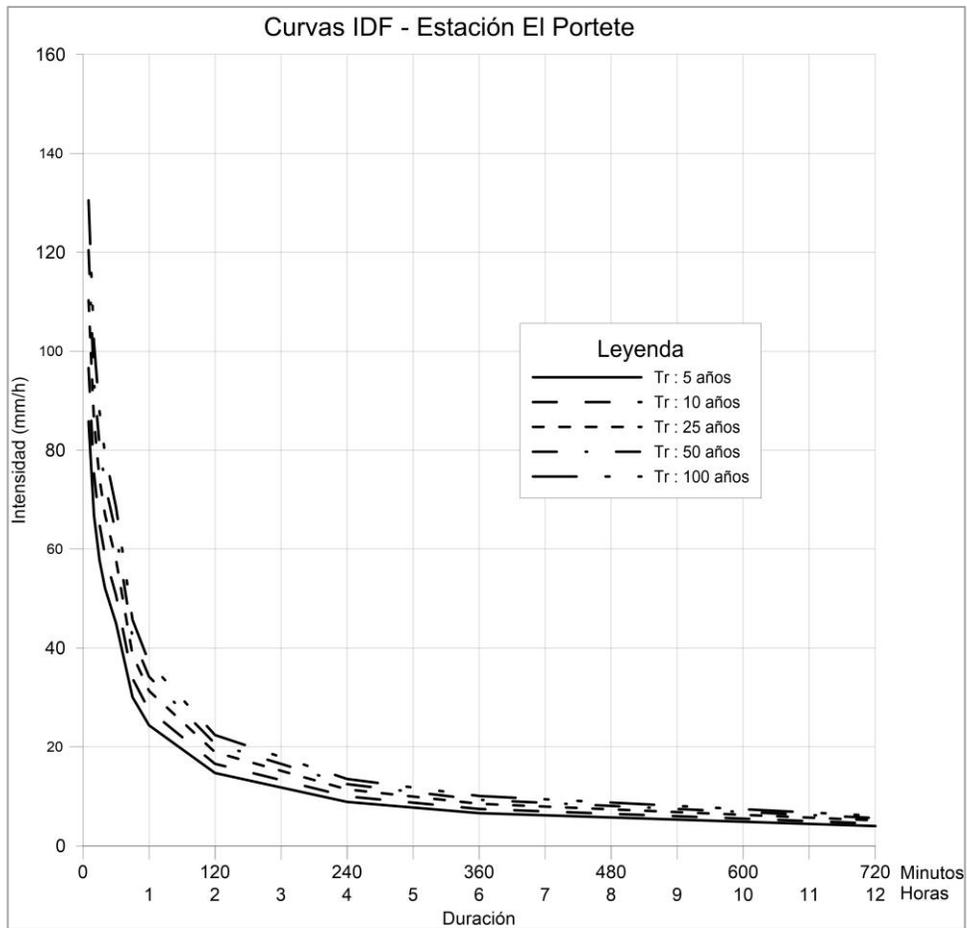
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	27.105	21.559	18.856	17.147	14.998	11.477	10.072	7.354	5.161	4.045	2.666	1.757
10	28.960	23.034	20.147	18.321	16.024	12.262	10.762	7.858	5.515	4.322	2.849	1.878
25	30.937	24.607	21.522	19.571	17.118	13.099	11.496	8.394	5.891	4.617	3.043	2.006
50	32.214	25.622	22.411	20.379	17.825	13.640	11.971	8.741	6.134	4.807	3.169	2.089
100	33.362	26.536	23.210	21.106	18.460	14.126	12.398	9.052	6.353	4.979	3.282	2.163





**Cuadro 8. Intensidad máxima de la Estación El Portete  
Cód. EP**

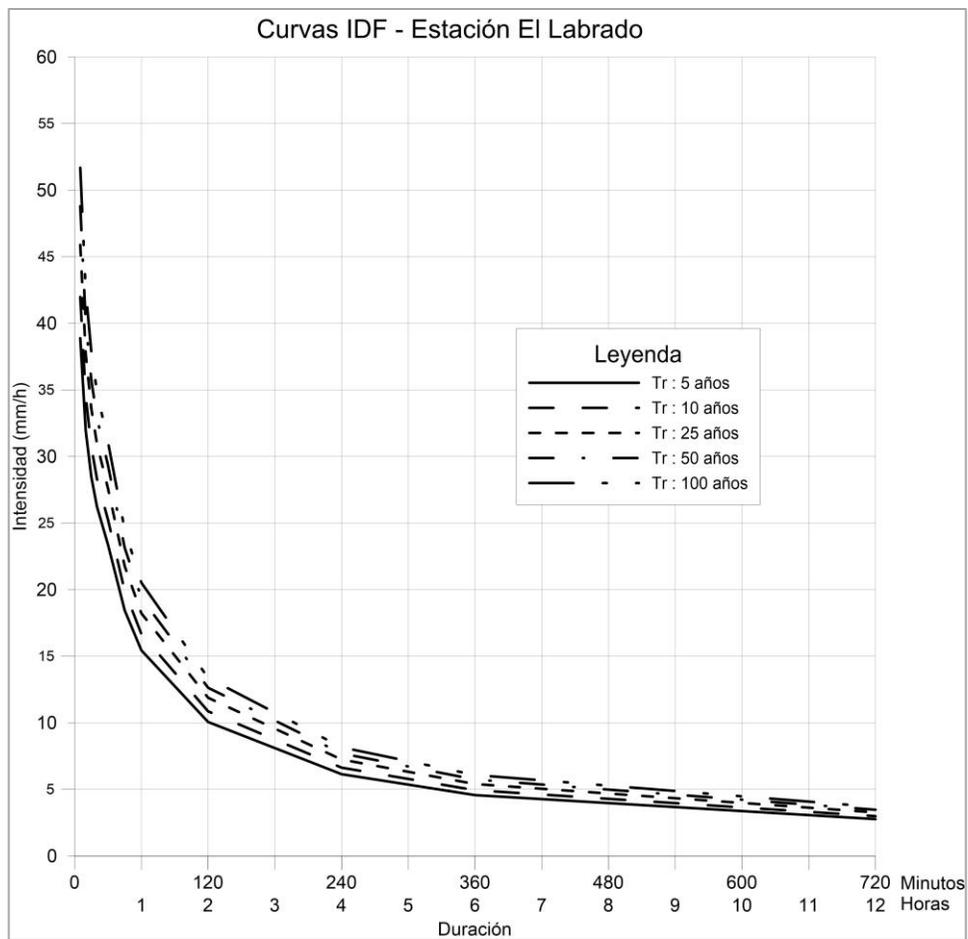
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	85.805	66.848	57.765	52.079	45.002	30.045	24.373	14.721	8.889	6.623	4.006	2.423
10	96.624	75.277	65.048	58.645	50.677	33.834	27.446	16.577	10.010	7.459	4.511	2.728
25	110.294	85.926	74.251	66.942	57.846	38.620	31.329	18.922	11.426	8.514	5.149	3.114
50	120.435	93.827	81.078	73.097	63.165	42.171	34.209	20.662	12.476	9.297	5.622	3.400
100	130.501	101.669	87.854	79.207	68.444	45.696	37.068	22.389	13.519	10.074	6.092	3.685





**Cuadro 9. Intensidad máxima de la Estación El Labrado  
Cód. EL**

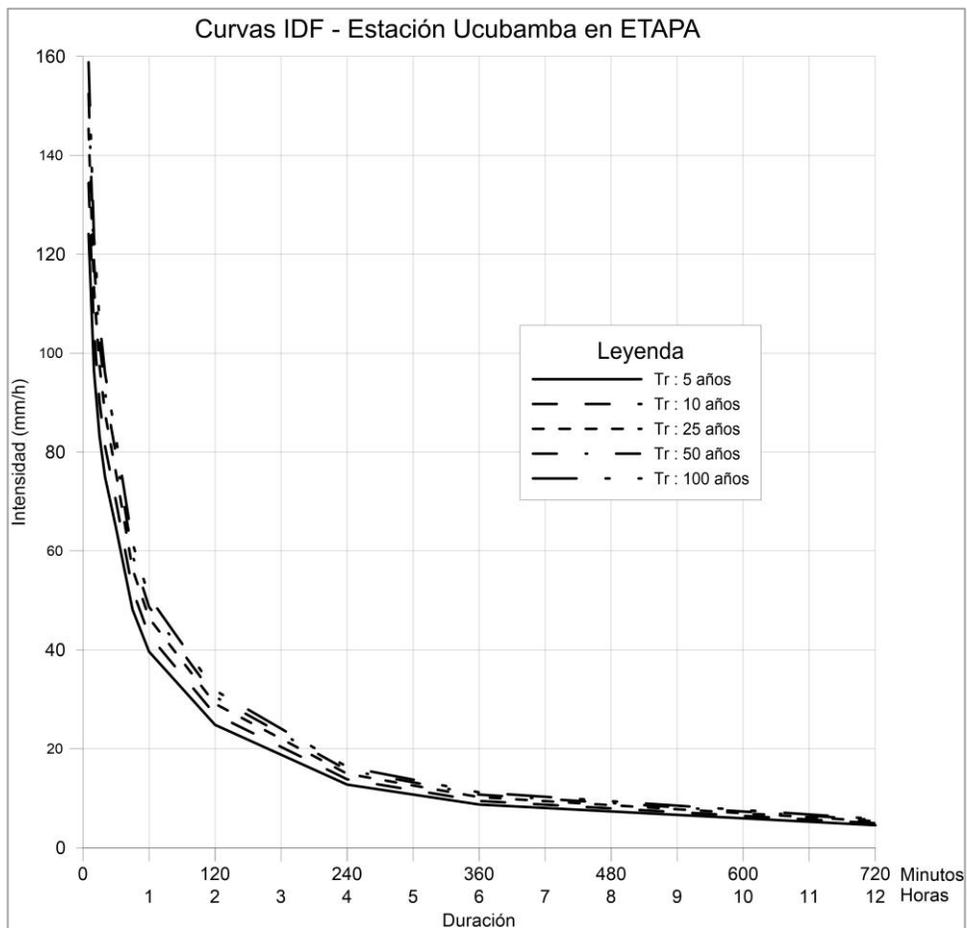
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	38.881	31.933	28.460	26.227	23.375	18.436	15.436	10.062	6.137	4.574	2.767	1.674
10	41.978	34.477	30.727	28.316	25.237	19.905	16.665	10.863	6.626	4.938	2.988	1.808
25	45.891	37.691	33.591	30.956	27.589	21.760	18.219	11.876	7.243	5.398	3.266	1.976
50	48.794	40.075	35.716	32.914	29.334	23.137	19.371	12.627	7.701	5.740	3.473	2.101
100	51.675	42.442	37.826	34.858	31.067	24.503	20.515	13.373	8.156	6.079	3.678	2.225





**Cuadro 10. Intensidad máxima de la Estación Ucubamba en ETAPA  
Cód. UE**

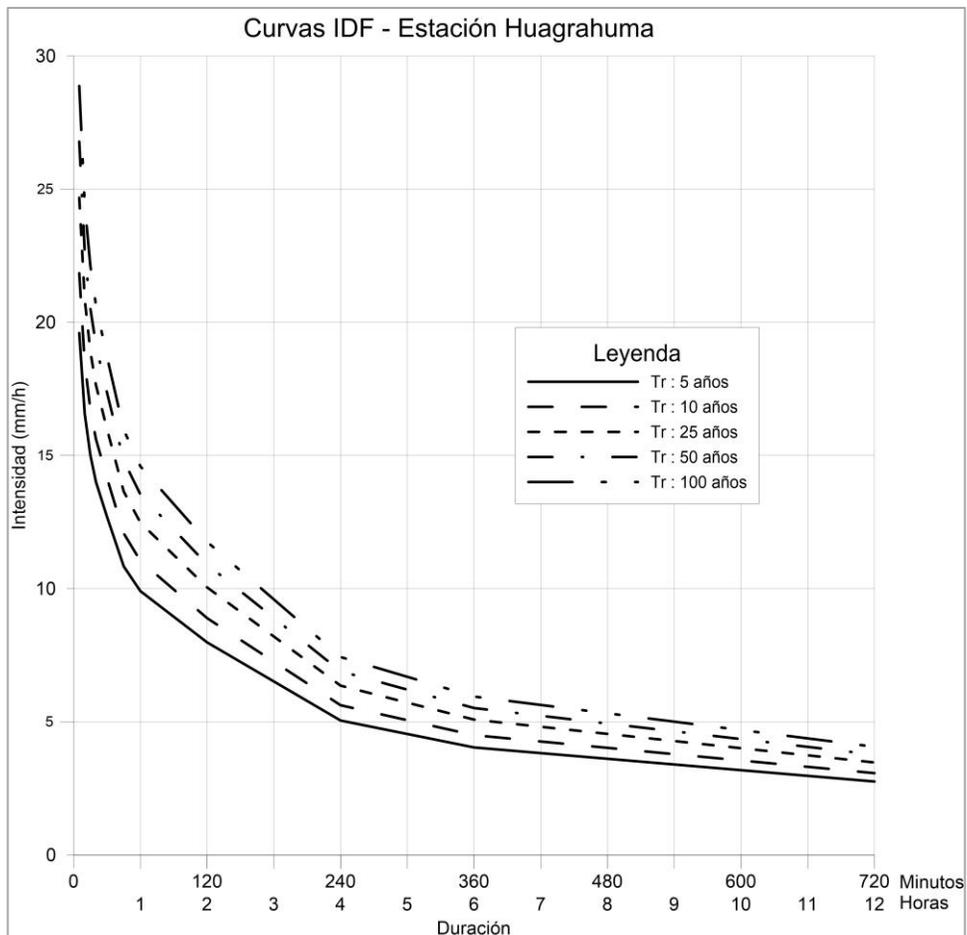
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	124.111	96.448	83.221	74.951	64.672	48.147	39.662	24.860	12.782	8.747	4.573	2.391
10	134.401	104.445	90.121	81.166	70.034	52.139	42.950	26.921	13.842	9.472	4.952	2.589
25	145.371	112.970	97.476	87.790	75.750	56.395	46.456	29.118	14.972	10.245	5.356	2.800
50	152.455	118.475	102.227	92.069	79.442	59.143	48.720	30.537	15.702	10.744	5.617	2.936
100	158.826	123.426	106.499	95.916	82.762	61.615	50.756	31.813	16.358	11.193	5.852	3.059





**Cuadro 11. Intensidad máxima de la Estación Huagrahuma  
Cód. Hu**

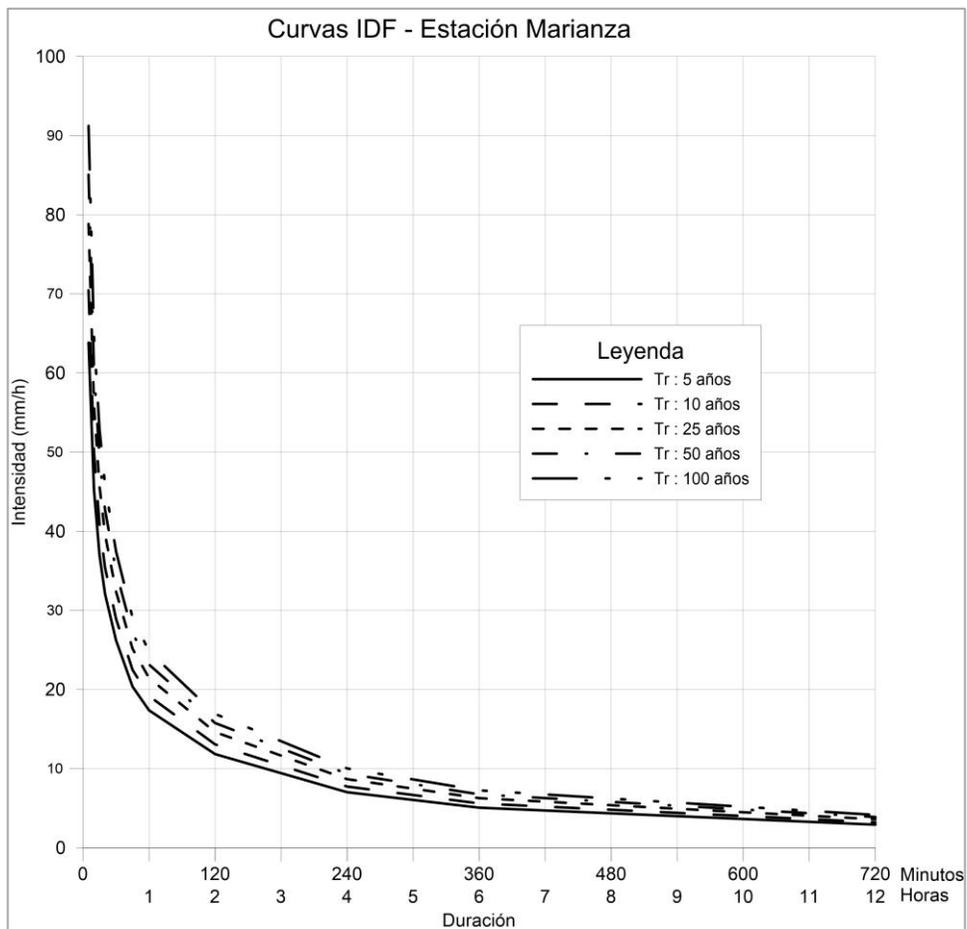
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	19.594	16.567	15.017	14.007	12.697	10.834	9.904	7.978	5.044	4.035	2.754	1.880
10	21.840	18.465	16.738	15.612	14.152	12.075	11.039	8.892	5.622	4.497	3.070	2.096
25	24.676	20.863	18.912	17.640	15.990	13.644	12.473	10.047	6.353	5.081	3.469	2.368
50	26.781	22.643	20.525	19.144	17.354	14.807	13.536	10.904	6.894	5.514	3.764	2.570
100	28.870	24.409	22.126	20.637	18.707	15.962	14.592	11.755	7.432	5.945	4.058	2.770





**Cuadro 12. Intensidad máxima de la Estación Marianza  
Cód. Ma**

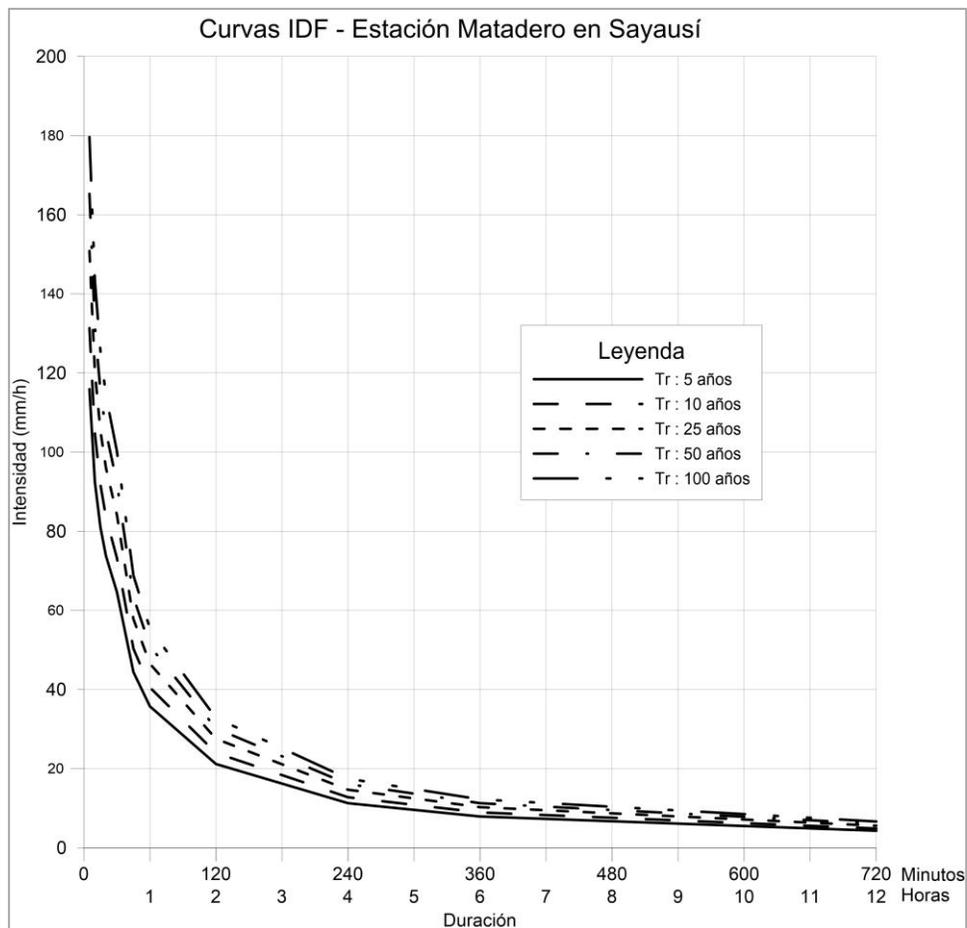
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	63.827	45.237	36.985	32.061	26.213	20.366	17.369	11.836	7.013	5.068	2.909	1.670
10	70.457	49.935	40.827	35.391	28.935	22.482	19.173	13.066	7.741	5.595	3.211	1.843
25	78.833	55.872	45.680	39.598	32.375	25.154	21.453	14.619	8.662	6.260	3.593	2.062
50	85.047	60.276	49.281	42.719	34.927	27.137	23.144	15.771	9.344	6.753	3.876	2.225
100	91.215	64.647	52.855	45.818	37.460	29.105	24.822	16.915	10.022	7.243	4.157	2.386





**Cuadro 13. Intensidad máxima de la Estación Matadero en Sayausí  
Cód. MS**

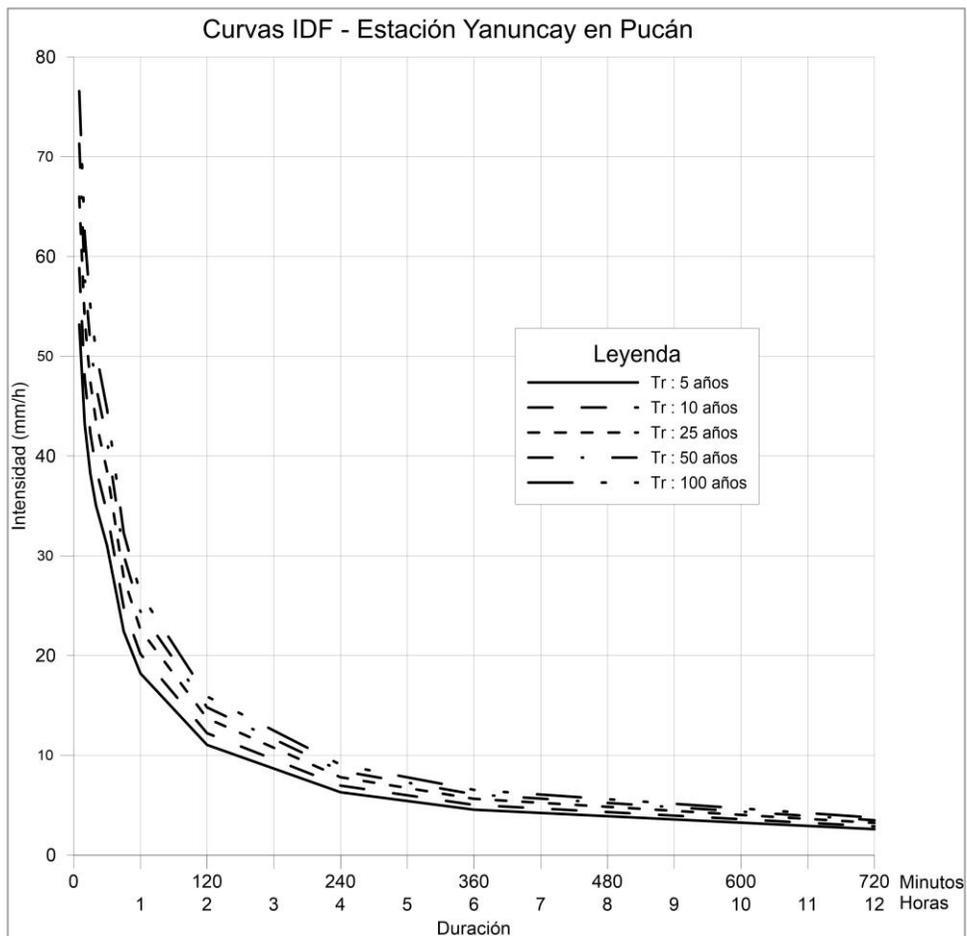
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	115.898	92.465	81.021	73.770	64.640	44.412	35.734	21.163	11.279	7.890	4.284	2.326
10	131.326	104.774	91.806	83.591	73.245	50.325	40.491	23.980	12.780	8.941	4.854	2.635
25	150.820	120.327	105.434	95.999	84.117	57.795	46.502	27.540	14.678	10.268	5.575	3.026
50	165.282	131.865	115.544	105.204	92.183	63.337	50.960	30.181	16.085	11.252	6.109	3.317
100	179.637	143.317	125.579	114.341	100.189	68.837	55.386	32.802	17.482	12.230	6.640	3.605





**Cuadro 14. Intensidad máxima de la Estación Yanuncay en Pucán  
Cód. YP**

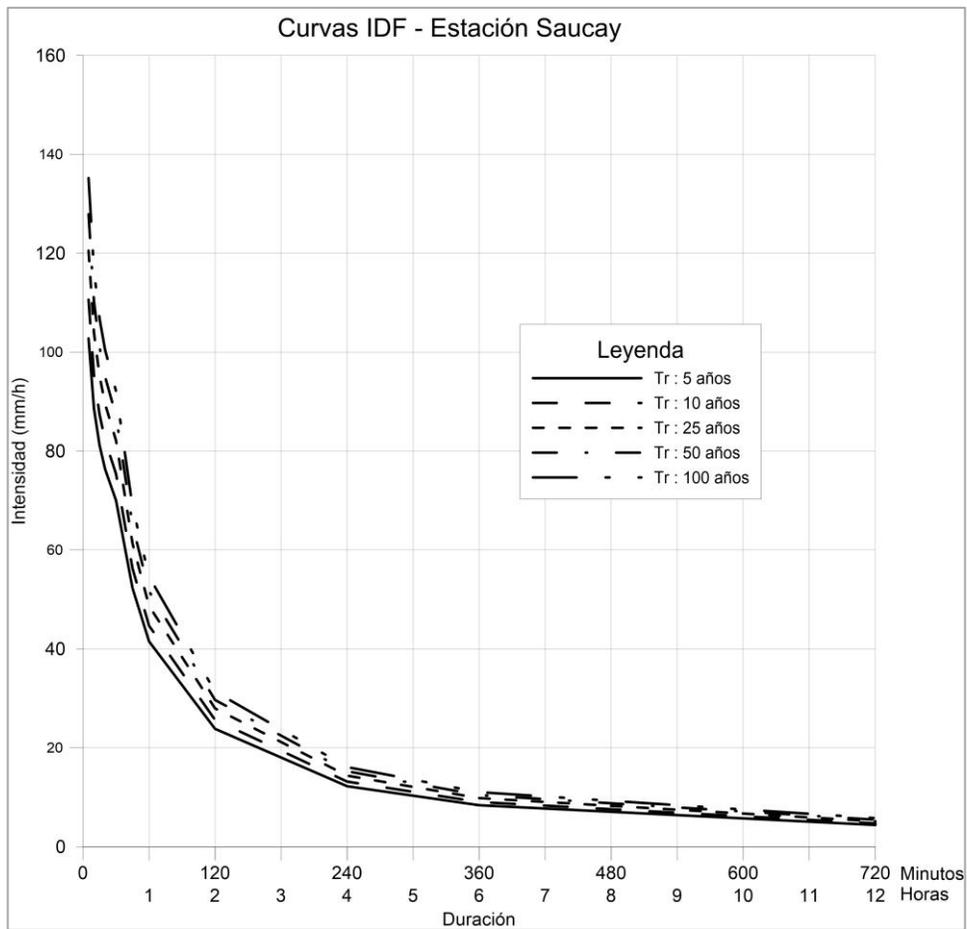
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	53.173	43.174	38.220	35.055	31.033	22.422	18.215	11.040	6.290	4.540	2.601	1.490
10	58.837	47.772	42.291	38.788	34.338	24.810	20.155	12.216	6.960	5.024	2.878	1.648
25	65.992	53.582	47.435	43.506	38.514	27.828	22.606	13.702	7.806	5.635	3.228	1.849
50	71.301	57.893	51.251	47.006	41.613	30.066	24.425	14.804	8.434	6.088	3.487	1.998
100	76.571	62.171	55.038	50.479	44.688	32.288	26.230	15.898	9.057	6.538	3.745	2.145





**Cuadro 15. Intensidad máxima de la Estación Saucay  
Cód. Sa**

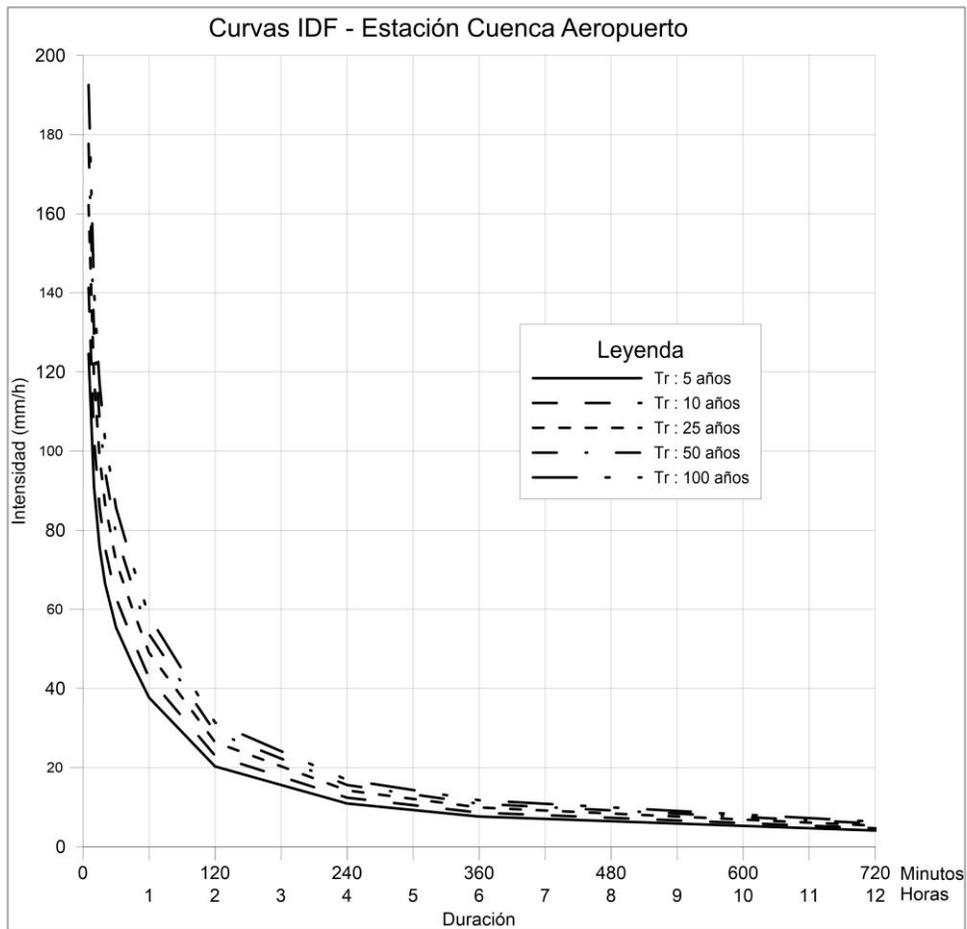
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	102.767	88.598	81.233	76.382	70.033	52.281	41.526	23.840	12.250	8.392	4.397	2.303
10	110.616	95.364	87.437	82.216	75.381	56.274	44.697	25.660	13.185	9.033	4.732	2.479
25	120.532	103.914	95.276	89.586	82.139	61.319	48.704	27.961	14.367	9.843	5.157	2.701
50	127.889	110.256	101.091	95.054	87.153	65.062	51.677	29.667	15.244	10.444	5.471	2.866
100	135.192	116.552	106.863	100.482	92.129	68.777	54.627	31.361	16.115	11.040	5.784	3.030





**Cuadro 16. Intensidad máxima de la Estación Cuenca Aeropuerto  
Cód. CA**

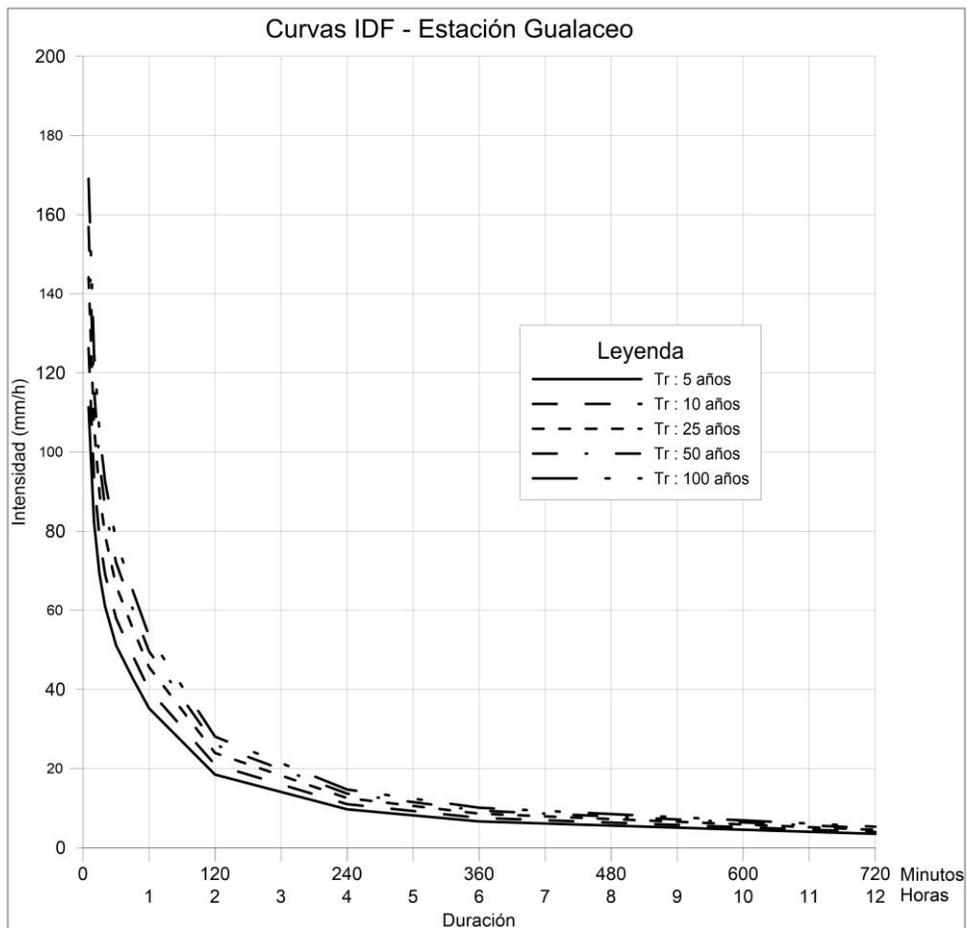
Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	124.590	91.079	75.827	66.581	55.432	46.149	37.691	20.311	10.945	7.623	4.108	2.214
10	141.280	103.280	85.985	75.500	62.857	52.331	42.741	23.031	12.411	8.644	4.658	2.510
25	162.150	118.536	98.687	86.653	72.143	60.062	49.054	26.434	14.244	9.921	5.346	2.881
50	177.650	129.867	108.120	94.937	79.039	65.803	53.743	28.960	15.606	10.870	5.857	3.156
100	192.550	140.760	117.188	102.899	85.668	71.322	58.251	31.389	16.915	11.781	6.349	3.421





**Cuadro 17. Intensidad máxima de la Estación Gualaceo  
Cód. Gu**

Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	111.320	82.400	69.104	60.993	51.151	42.897	35.222	18.474	9.690	6.643	3.484	1.827
10	126.260	93.458	78.378	69.179	58.016	48.655	39.950	20.953	10.990	7.534	3.952	2.073
25	144.180	106.723	89.502	78.997	66.250	55.560	45.620	23.927	12.550	8.604	4.513	2.367
50	156.880	116.124	97.386	85.955	72.086	60.454	49.638	26.035	13.655	9.362	4.910	2.575
100	169.060	125.139	104.947	92.629	77.683	65.148	53.492	28.056	14.715	10.089	5.291	2.775





**Cuadro 18. Intensidad máxima de la Estación Ricaurte Cuenca  
Cód. RC**

Tr (años)	Intensidad (mm/h)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
5	129.080	94.035	78.129	68.504	56.917	44.124	34.315	18.723	10.216	7.168	3.911	2.134
10	140.090	102.056	84.794	74.347	61.772	47.888	37.242	20.320	11.087	7.779	4.244	2.316
25	151.840	110.615	91.906	80.583	66.953	51.904	40.365	22.025	12.017	8.431	4.600	2.510
50	159.420	116.137	96.494	84.606	70.296	54.495	42.380	23.124	12.617	8.852	4.830	2.635
100	166.240	121.106	100.622	88.225	73.303	56.827	44.193	24.113	13.157	9.231	5.037	2.748

