

**REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RIO META PARA
EL SECTOR AGROPECUARIO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRAFICA
AGUAVERDE**

**PEDRO LUIS GUTIÉRREZ ARCE
IC-031-2012**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2012**

**REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RIO META PARA
EL SECTOR AGROPECUARIO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRAFICA
AGUVERDE**

**PEDRO LUIS GUTIÉRREZ ARCE
IC-031-2012**

**DIRECTOR:
MSc., Ing. MIGUEL ANGEL VANEGAS RAMOS**

**Trabajo de grado presentado como
Requisito para optar al título de:**

INGENIERO CIVIL



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2012**

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada agradecer a Dios por todas las bendiciones que me ha brindado, la compañía que me prestado a largo de mi vida y permitirme gozar de este nuevo triunfo. A mis padres Pedro Luis y Elvira por el apoyo incondicional que siempre me han proporcionado, por la formación que me han entregado, el respaldo en todos los momentos y el amor con el que me educaron. A mis hermanos Juan Camilo y Paola Jimena por permitirme contar con ellos en cualquier instante, la ayuda al levantarme en las caídas y el aprendizaje que me han transmitido. A ellos no más que decirles “infinitas gracias”.

A mi tutor y amigo Ingeniero Miguel Ángel Vanegas por su conocimiento, su colaboración y su amistad en el proceso de enseñanza. A mis compañeros de universidad, de los cuales saque las mejores experiencias en este trayecto de mi vida, de los que me llevo los mejores recuerdos y todas las enseñanzas que me dieron.

A todos los docentes de la Universidad Militar Nueva Granada por contribuir en mi formación profesional, personal y social.

Muchas Gracias.

Bogotá, D.C., 22 enero 2012

FORMATO
Ref.: Entrega informe final

Señores
COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Ciudad.

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, nos permitimos presentar para los fines pertinentes, el informe final de:
REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RIO META PARA EL SECTOR AGROPECUARIO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRAFICA AGUVERDE

Tutor de la actividad investigativa es:
Ing. MIGUEL ÁNGEL VANEGAS RAMOS.

Atentamente,

Firma:

Pedro Luis Gutiérrez Arce.
Código: 1100951

Firma:

Ing. Miguel Ángel Vanegas Ramos.
Tutor Universidad Militar Nueva Granada

AUTORIDADES UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

MAYOR GENERAL (r) EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL
Rector

BRIGADIER GENERAL (r) ALBERTO BRAVO SILVA
Vicerrector General

Dra. MARTHA LUCIA BAHAMON JARA
Vicerrector Académico

Dra. SONIA OSPINO GÓMEZ
Vicerrector Administrativo

ERNESTO VILLARREAL SILVA, Ph. D.
Decano de la Facultad de Ingeniería

Bogotá D.C., Enero 22 del 2012

Sr.
Ing. Gonzalo Ríos Marín
Director Programa de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ref. Presentación Acta de grado

Por medio de la presente me permito informar que el estudiante: PEDRO LUIS GUTIÉRREZ ARCE presento proyecto de grado titulado “REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RIO META PARA EL SECTOR AGROPECUARIO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRAFICA AGUVERDE”. Con la modalidad de Monografía de investigación en la facultad de Ingeniería Civil presencial, donde fue aprobado por el comité de grado y sustentación. Obtuvo una calificación del proyecto de () .

Gracias por la atención prestada
Cordialmente,

Ing. Miguel Ángel Vanegas Ramos.

APROBACIÓN

El informe final titulado “REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RIO META PARA EL SECTOR AGROPECUARIO HASTA LA ESTACIÓN LIMNIGRAFICA AGUERVERDE”. Presentada por el estudiante PEDRO LUIS GUTIÉRREZ ARCE en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el tutor:

Ing. Miguel Ángel Vanegas Ramos
Tutor Universidad Militar Nueva Granada

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3	OBJETIVOS.....	3
3.1	Generales	3
3.2	Específicos	3
4	JUSTIFICACIÓN.....	4
5	MARCO CONCEPTUAL.....	5
5.1	MARCO TEÓRICO	5
5.1.1	¿Qué es un histograma?.....	5
5.1.2	La estadística en la hidrología.....	5
5.1.3	Probabilidad y frecuencias.	7
5.1.4	Ajuste de distribución de probabilidad.....	7
5.1.5	Análisis de frecuencia.	8
5.2	MARCO TECNICO	8
6	METODOLOGIA.....	9
6.1	Selección de estaciones.	9
6.2	Compendio de datos.....	11
6.3	Series de tiempo de caudales.....	12
6.4	Grafica de caudales máximos mensuales multianuales.	12
6.5	Histograma de caudales máximos mensuales anual.....	13
6.6	Resumen numérico de la serie.	18
6.7	Box Plot de la serie.....	19
6.8	Ajuste de distribuciones.....	25
6.9	Prueba de Bondad de Ajuste.....	30
6.10	Calculo de área de influencia de la estación.	32
6.11	Ecuaciones de Regionalización.....	34
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
8	BIBLIOGRAFIA.....	39
9	ANEXOS.....	40
9.1	Regionalización de Caudales Máximos.....	40
9.1.1	5 Años.....	40
9.1.2	10 Años.....	42
9.1.3	15 Años.....	44

9.1.4	20 Años.....	46
9.1.5	25 Años.....	48
9.1.6	30 Años.....	50
9.1.7	50 Años.....	52
9.1.8	75 Años.....	54
9.1.9	100 Años.....	56
9.2	Regionalización de Caudales Mínimos.....	58
9.2.1	2 Años.....	58
9.2.2	5 Años.....	60
9.2.3	10 Años.....	62
9.2.4	15 Años.....	64
9.2.5	20 Años.....	66
9.2.6	25 Años.....	68
9.2.7	30 Años.....	71
9.2.8	50 Años.....	73
9.2.9	75 Años.....	75
9.2.10	100 Años.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Estaciones seleccionadas para el desarrollo de la regionalización.....	10
Tabla 2:	Información de la estación	11
Tabla 3:	Datos recopilados por la estación Pte. Lleras.....	11
Tabla 4:	Datos máximos, mínimos y medios anuales.....	12
Tabla 5:	Máximos, mínimos y medios de la muestra.....	14
Tabla 6:	Cuartiles (Q_1, Q_2, Q_3) para los máximos.....	15
Tabla 7:	Descripción de datos del histograma.....	16
Tabla 8:	Frecuencias para construcción del histograma.....	17
Tabla 9:	Resumen numérico estadístico de la serie de tiempo de caudales máximos mensuales	19
Tabla 10:	Datos arreglados para la construcción del Box Plot.....	20
Tabla 11:	Obtención de los valores para el Box Plot.....	21
Tabla 12:	Datos estadísticos mensuales de caudales estación Pte. Lleras.....	23
Tabla 13	Datos estadísticos Box Plot Mensuales.....	23
Tabla 14:	Distribuciones de probabilidad.....	26
Tabla 15:	Datos de Distribuciones de Probabilidad para frecuencias acumuladas.....	27
Tabla 16:	Datos de Distribuciones de Probabilidad para frecuencias relativas.....	27
Tabla 17:	Prueba de Bondad de Ajuste (Kolmogorov).....	30

Tabla 18: Prueba de Bondad de Ajuste (Chi Cuadrado).....	31
Tabla 19: Distribución De Probabilidad seleccionada mediante Prueba de Bondad de ajuste.	31
Tabla 20: Caudales para diferentes Periodos de retorno con la Distribución seleccionada	32
Tabla 21: Área de influencia de la estación Pte. Lleras	34
Tabla 22: Caudales para un periodo de retorno de 2 Años.	35
Tabla 23: Ecuaciones de regionalización para diferentes periodos de retorno para caudales máximos.	37
Tabla 24: Ecuaciones de regionalización para diferentes periodos de retorno para caudales mínimos.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Colombia con Estaciones de medición	9
Figura 2 Caudales máximos mensuales máximos anuales.	13
Figura 3 Histograma de caudales máximos mensuales de la estación Pte. Lleras.	18
Figura 4: Box Plot de caudales máximos máximo anual estación Pte. Lleras.	22
Figura 5: Gráfica Box Plot mensuales.....	25
Figura 6: Ajuste de Distribuciones de Probabilidad para las frecuencias acumuladas.....	28
Figura 7: Ajuste de Distribuciones de Probabilidad para las frecuencias relativas.....	29
Figura 8: Territorio Nacional con las Zonas Hidrográficas	32
Figura 9: Selección de la Cuenca.	33
Figura 10: Cuenca del Río Meta recortada	33
Figura 11: Regionalización de Caudales para un periodo de retorno de 2 años ...	36

1 INTRODUCCIÓN

Para realizar la estimación de caudales de diseño, existen herramientas de probabilidad y estadística, mediante las cuales, se estudian las variables hidrológicas que permitan llegar a un estudio de caudales para una cuenca de interés propuesta, en esta caso se habla de la cuenca del río Meta. La cual cuenta con número muy bajo de estaciones de recolección de datos hidrológicos, por lo cual la aplicación de un modelo hidrológico en el cual se tengan en cuenta la recopilación y análisis de datos de observaciones adyacentes tanto en el tiempo como en el espacio, permite estimar la ocurrencia de un evento hidrológico en lugares determinados.

En este trabajo se mostrara el empleo de conceptos como frecuencia relativa, frecuencia acumulada, probabilidad, varianza, desviación estándar, regionalización de caudales, entre otros, que hacen parte de la probabilidad y estadística, pero que al ser aplicados al análisis hidrológico permiten determinar la ocurrencia de un evento determinado que resulta tener varias finalidades; determinación de una ronda hídrica, comportamiento de caudales, precipitación en una zona determinada, etc. Como objeto de estudio de este trabajo será la regionalización de caudales, el cual a partir de un modelo que se desarrolla para la cuenca del río Meta, podrá determinar los caudales en cualquier época del año, con el objeto de brindar información acertada a los agricultores de arroz de la región con el fin de poder pronosticar y programar sus procesos de siembra y cosecha de arroz.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de información hidrológica que se presenta sobre la cuenca del río Meta, a la altura del río Pauto entre los municipios de Trinidad y San Luis de Palenque en el departamento del Casanare, implica que las oportunidades de desarrollo de esta región se ven limitadas, en contraste con zonas donde se presenta información. Esto debido a que mientras en otras regiones en las cuales mediante el uso de ayudas tecnológicas para su surgimiento, generan un campo de competitividad más exigente, en los municipios como los anteriormente mencionados, les sea difícil ingresar, conduce a que para hacer un cambio a favor de estas poblaciones, se realicen estudios que conlleven a resultados que permitan ayudarlas a optimizar sus recursos.

La producción agropecuaria representa un importante papel en la economía de estos municipios, la actividad arrocera fuente de empleo y desarrollo para la región, la cual depende en gran medida del manejo del agua, será beneficiada con la predicción de caudales, para un mejor manejo de la misma. El hecho de que no existe información que permita realizar una predicción de caudales para que los arroceros puedan establecer una organización o una línea de tiempo para sus cultivos, mediante la cual puedan mejorar su inversión, indica un problema, el cual, mediante el uso de las herramientas de la ingeniería se puede ver solucionado.

3 OBJETIVOS

3.1 Generales

Determinar caudales en puntos no monitoreados sobre el río Pauto en el tramo comprendido entre los municipios de Trinidad y San Luis de Palenque Casanare, a partir de información proveniente de las estaciones hidrológicas ubicadas sobre la cuenca del río Meta hasta la estación limnigráfica Aguaverde, con el objeto de estimar caudales que sirvan de información preliminar para el sector agropecuario de la región.

3.2 Específicos

- Realizar el análisis estadístico preliminar de la información existente proveniente de las estaciones hidrológicas ubicadas sobre la cuenca del río Meta hasta la estación limnigráfica Aguaverde, proporcionada por las entidades con presencia en ella, para obtener la caracterización estadística de las series de tiempo.
- Desarrollar el análisis de frecuencias para las series de tiempo de caudales proveniente de las estaciones hidrológicas ubicadas sobre la cuenca del río Meta hasta la estación limnigráfica Aguaverde con el fin de obtener caudales de diseño para distintos periodos de retorno.
- Efectuar un análisis de relación área de la cuenca - caudal para las distintas estaciones ubicadas sobre la cuenca del río Meta hasta la estación limnigráfica Aguaverde, que permitan la obtención de datos de caudal para distintos periodos de retorno para puntos no monitoreados sobre el río Pauto en el tramo comprendido entre los municipios de Trinidad y San Luis de Palenque Casanare.

4 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo ve la finalidad de consolidar y emplear los conocimientos aprendidos durante la carrera, en las áreas de hidrología y probabilidad y estadística, con el fin de aplicarlos al beneficio del sector agrícola en la zona de los llanos orientales, mediante la determinación de los caudales de la cuenca del río Meta, para dedicarlos más específicamente en el municipio de Trinidad Casanare, aunque esto no implica que no se pueda aplicar en cualquier sector de la cuenca en cuestión.

La realización de un modelo hidrológico que permita hacer una estimación de caudales en un sitio determinado representa para los cultivadores de arroz de la zona que se encuentren dentro de la cuenca de estudio, información de gran importancia momento de hacer su programación de líneas de tiempo. El cultivo del arroz depende de contar con una fuente hídrica que le permita llenar sus piscinas donde es sembrado, al igual que depende la aplicación de los fungicidas, herbicidas, abonos, entre otros insumos que son necesarios para esta actividad. Teniendo acceso de primera mano a este cultivo se ve necesario crear una base de apoyo a este sector mediante un modelo, el cual ayude a determinar si la fuente hídrica de la cual están dependiendo para hacer su actividad agrícola, presentara cambios significativos o eventos extremos, como ya se explicara a lo largo del trabajo, mediante los cuales su producción y por ende la rentabilidad del cultivo se pueda ver afectada

La hidrología es un área de estudio de la ingeniería civil que tiene múltiples aplicaciones dentro de la carrera, para efectos de este trabajo se hará un análisis hidrológico aplicando los conceptos y conocimientos aprendidos, con el objeto de hacer una estimación de caudales, para que posteriormente se pueda mediante un desarrollo de hidráulica de canales, hacer inundaciones en las fincas Trompillo y Bruselas ubicadas en el municipio de Trinidad Casanare, que favorezcan a la agricultura de arroz. Sin estar necesariamente el modelo desarrollo en este trabajo a estas fincas en particular.

5 MARCO CONCEPTUAL

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 ¿Qué es un histograma?

Es una herramienta estadística que permite representar de manera gráfica, una variable objeto de estudio, en forma de barras. En el eje de las ordenadas se ubican los valores de las variables y en el eje de las abscisas se encuentran las frecuencias. Las variables pueden ser continuas o discretas, estas son agrupadas lo que estadísticamente se conoce como clase, es decir, valores continuos.

Dentro del histograma se distribuyen una serie de gráficos que se diferencian unos de otros en algunos aspectos, pero siguen siendo histogramas. A continuación se presenta los tipos de histogramas:

- Diagrama de barras simples.
- Diagrama de barras compuesta.
- Diagrama de barras agrupadas.
- Polígono de frecuencias.
- Ojiva porcentual.

Construcción de un histograma.

Para la construcción de un histograma, en general, se deben seguir 5 pasos básicos:

1. Determinar el Rango ($R = \text{Mayor} - \text{Menor}$).
2. Determinar el número de clases.
3. Establecer la longitud de la clase ($L = R / \# \text{ Clases}$).
4. Construir los intervalos de clases.
5. Graficar el histograma.

5.1.2 La estadística en la hidrología.

El espacio y el tiempo son los factores en los que se desarrolla el proceso hidrológico, la determinación de variables dentro de este proceso puede presentarse de manera parcial, determinística y aleatoria. Las observaciones adyacentes funcionan como una ayuda al momento del análisis estadístico del proceso hidrológico. Sin embargo cuando el proceso es independiente del tiempo y del espacio, este es conocido como un proceso estocástico. Este tipo de procesos se presenta cuando la variabilidad aleatoria del mismo es demasiado grande con respecto a su variabilidad determinística, en este caso no se

correlacionan las observaciones adyacentes y las todas las observaciones tienen propiedades estadísticas iguales.

Los procesos estocásticos ven su aplicación en eventos hidrológicos de baja probabilidad de ocurrencia, como lo son las sequias y las inundaciones, y para el análisis de información hidrológica en periodos de tiempo extensos como los anuales.

Un grupo de observaciones constituyen una muestra, la cual presenta características estadísticas constantes, pero entre muestras las propiedades pueden ser diferentes, por ejemplo, la muestra que se hace con observaciones de precipitación de un lugar determinado, presentan propiedades constantes para ese lugar, mientras que una muestra que se realice con observaciones de un lugar diferente al primero, aunque va a presentar igualmente propiedades constantes para esa muestra, va a haber variación de las propiedades entre muestras.

Ahora con todas las muestras con la cuales se puedan disponer se crea un espacio muestral, y un evento determinado es un subconjunto de ese espacio muestral.

Ahora bien la probabilidad de que ese evento determinado suceda, es la posibilidad de que este evento ocurra cuando se hace una observación a una variable aleatoria. En una muestra que se compone de x número de observaciones y entre esas observaciones se tiene y número de observaciones que pertenecen a un rango dentro del cual se encuentra el evento de estudio, entonces la frecuencia relativa de este evento será y/x . Una optimización de la estimación del evento se va a ver favorecida en la medida en que la muestra sea mayor, entre mayor sea el número de observaciones de la muestra, más acertada será la estimación de ese evento. Estas probabilidades reciben el nombre de objetivas o posteriores, esto debido a que están dependientes íntimamente de las observaciones de la variable aleatoria.

En el caso de que se tengan 2 eventos, se presenta la ocurrencia de una probabilidad condicional, es decir, de que un evento suceda en base de haya acontecido el otro evento, entonces la probabilidad conjunta de que los dos eventos ocurran, será el producto de que ocurra la probabilidad condicional y la probabilidad de que ocurra el primer evento. Por otro lado si la ocurrencia de un evento no tiene ninguna dependencia del otro evento, se dice que los eventos son independientes, y la probabilidad de que los dos eventos ocurran será igual al producto de la probabilidad de que suceda el primer evento y la probabilidad de que ocurra el segundo evento.

De esta manera los conceptos estadísticos de independencia y dependencia permitan hacer una selección del análisis al momento de realizar una interpretación estadística. Esto debido a que si los datos de estudio son independientes podrán ser analizados sin importar el orden de ocurrencia, pero si la información esta correlacionados la probabilidad conjunta de eventos no es igual, por lo tanto la metodología estadística será diferente.

5.1.3 Probabilidad y frecuencias.

Una herramienta de análisis probabilístico de amplio uso en el estudio hidrológico, es el histograma de frecuencias, el cual permite organizar las observaciones en un gráfico de barras para visualizar las frecuencias y la ocurrencia de eventos. Si las observaciones dentro de una muestra han sido recopiladas dentro de la misma distribución de probabilidad, pueden ser ordenadas a fin de construir un diagrama de frecuencias.

El rango factible de la variable aleatoria se divide en intervalos discretos, luego se cuentan el número de observaciones que caen en cada uno de los intervalos, luego estos intervalos se grafican en forma de barras. Con el fin de que la información no presente cambios abruptos dentro del histograma, los intervalos del histograma deben construirse con un ancho tan pequeño como lo permitan los datos, haciendo que el mayor número de observaciones caiga dentro de cada uno de los intervalos.

La función de frecuencia relativa se presenta cuando un número n de observaciones existentes dentro de un intervalo determinado, se divide por el número total de observaciones de la muestra, y representa la probabilidad de que un evento X ocurra en el intervalo determinado para ese grupo de observaciones n . Si se suman todas las frecuencias relativas se tendrá lo que se conoce como frecuencias acumuladas, la probabilidad acumulada de x_i .

5.1.4 Ajuste de distribución de probabilidad.

Una distribución de probabilidad representa la ocurrencia de un evento determinado. Cuando se hace un ajuste a la distribución de probabilidad se logra tomar una gran cantidad de observaciones de una muestra, asociarlas y

resumirlas mediante una función. Para este proceso se tienen el método de los momentos y el método de la máxima verosimilitud.

5.1.5 Análisis de frecuencia.

Dentro del análisis hidrológico existen eventos considerados extremos, estos son eventos en los que su frecuencia con respecto a eventos moderados es muy baja, es decir, los eventos extremos se presentan con menor frecuencia, pero igualmente ocurren, aunque sean casos aislados, estos eventos en el proceso hidrológico se presentan en forma de tormentas, inundaciones o sequías. El análisis de frecuencia consiste en crear una relación entre la magnitud de estos eventos extremos con la frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad, con una selección de datos sea independiente y sea idénticamente distribuida lo cual implica que es un sistema estocástico.

5.2 MARCO TECNICO

La regionalización hidrológica explora al máximo las informaciones existentes, buscando estimar las variables hidrológicas en lugares carentes de datos o bien donde los existentes resultan insuficientes por cantidad o por calidad. Esta técnica permite explorar mejor las muestras puntuales y, en consecuencia, mejorar las estimaciones de las variables; verificar la consistencia de las series hidrológicas; identificar la falta de puestos de observación, etc.

La regionalización consiste en un conjunto de herramientas que exploran al máximo las informaciones existentes, buscando estimar las variables hidrológicas en lugares carentes de datos o bien donde los existentes resultan insuficientes por cantidad o por calidad. La regionalización puede ser usada para: explorar mejor las muestras puntuales y en consecuencia mejorar las estimaciones de las variables; verificar la consistencia de las series hidrológicas e identificar la falta de puestos de observación.

Conforme a esto, la regionalización puede ser elaborada para:

1. Funciones estadísticas de variables hidrológicas: curva de probabilidad de caudales máximos (crecidas para distintos tiempos de retorno T), medios o mínimos; curva de probabilidad de precipitaciones máximas; etc.
2. Funciones específicas que relacionen variables: curva de regularización de caudales, curva de infiltración, curva de permanencia, etc.
3. Parámetros de modelos hidrológicos: características del hidrograma unitario; parámetros de otros modelos hidrológicos, etc.

6 METODOLOGIA

6.1 Selección de estaciones.

Para el desarrollo del modelo de regionalización de caudales en la cuenca del río Meta hasta la estación limnigráfica de Aguaverde, es necesario tomar los registros históricos de caudales que se presentan en los distintos puntos de monitoreo de la cuenca con los que cuenta el IDEAM. Para esto, se debe hacer una selección de estaciones, debido a que no todas las estaciones cuentan con la información pertinente para este trabajo. Para esta selección se emplea el Software de ArcGIS 10.0, el cual permite ingresar a su plataforma los shape. Primero se ingresa el shape de Colombia el cual es la cartografía nacional y tiene la división de las diferentes cuencas que se presentan en el país, más adelante se ingresan los shape de las estaciones de medición y monitoreo del país. A partir de este punto se enfoca el trabajo solo en la cuenca del río Meta, y se seleccionan las estaciones que midan caudales en las distintas corrientes de la cuenca. .

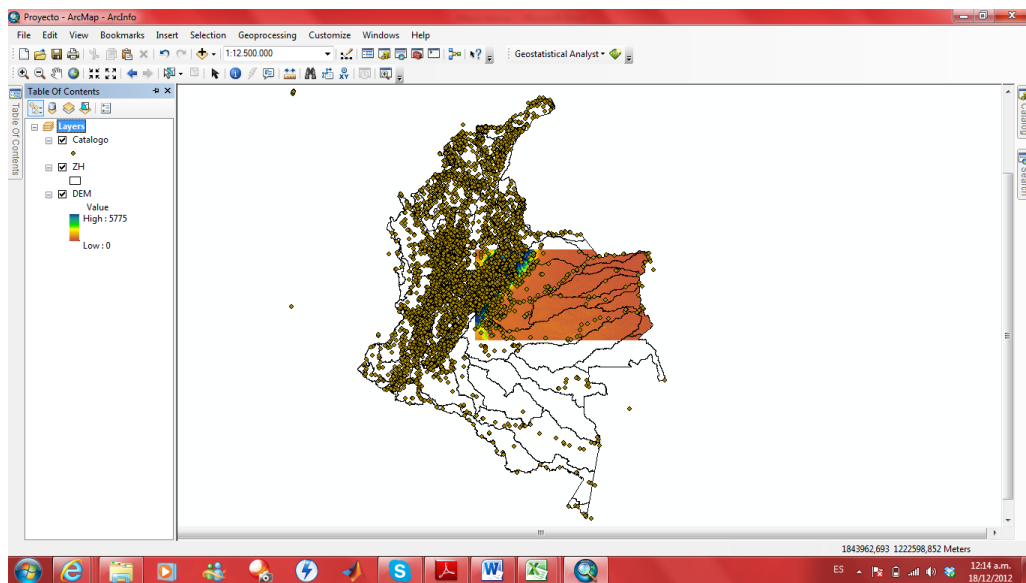


Figura 1: Mapa de Colombia con Estaciones de medición^a

Una vez se haya seleccionado las estaciones (Figura 1) con las que se van a trabajar se procede a hacer el modelo de regionalización de caudales para diferentes periodos de retorno.

Para efectos de explicar cómo es la creación del modelo, se tomara una estación y se explicara el proceso con esa estación, y el mismo proceso se aplicara para las diferentes estaciones con las que se trabaje.

^a Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Estaciones seleccionadas para el desarrollo de la regionalización.^b

ESTACIONES SELECCIONADAS.					
NOMBRE	CODIGO	TIPO	SUBCUENCA	DEPTO	MUNICIPIO
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	LG	META	META	PUERTO LOPEZ
CARAZA	35027100	LG	UNE	CUND	CHIPAQUE
ANIMAS LAS	35027150	LG	CHOCHAL	BOGO	BOGOTA
GUACAPATE	35027190	LG	NEGRO	CUND	QUETAME
PALMAR EL	35027200	LG	BLANCO	CUND	GUAYABETAL
CASETEJA-DELICIAS	35027210	LG	NEGRO	CUND	GUAYABETAL
CABLE EL	35057010	LG	HUMEA	CUND	PARATEBUENO
GLORIA LA	35067010	LG	NEGRO	CUND	UBALA
UBALA	35067030	LG	CHIVOR	CUND	UBALA
BOCA LA	35067090	LG	BATATAS	CUND	GACHALA
MUNDO NUEVO	35067130	LG	RUCIO	CUND	UBALA
CAMOYO EL	35077050	LG	BATA	BOYA	MACANAL
PTE FIERRO	35077080	LG	SOMONDOCO	BOYA	SOMONDOCO
SAN JOSE	35077100	LG	TEATINOS	BOYA	SAMACA
CARACOL EL	35077120	LG	GARAGOA	BOYA	GARAGOA
BARBOSA TERMALES	35077140	LG	MACHETA	CUND	TIBIRITA
SAN AGUSTIN	35087010	LG	LENGUPA	BOYA	SANTA MARIA
PAEZ	35087020	LG	LENGUPA	BOYA	CAMPOHERMOSO
REVENTONERA LA	35097090	LG	UPIA	CASA	SABANALARGA
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	LG	UPIA	BOYA	AQUITANIA
GUAICARAMO	35107040	LG	UPIA	CASA	SABANALARGA
HUMAPO	35117010	LG	META	META	PUERTO LOPEZ
CAMP YUCAO	35127020	LG	YUCAO	META	PUERTO LOPEZ
VADO HONDO	35197020	LG	CUSIANA	BOYA	AQUITANIA
ESTEROS LOS	35197030	LG	UNETE	CASA	AGUAZUL
RANCHERIAS	35197050	LG	CUSIANA	BOYA	PAJARITO
PTE YOPAL	35217010	LG	CRAVO SUR	CASA	YOPAL
PTE LA CABANA	35217030	LG	CRAVO SUR	CASA	YOPAL
PLAYON EL	35217060	LG	TOCARIA	CASA	NUNCHIA
AGUVERDE	35267080	LG	META	VICH	LA PRIMAVERA

^b Fuente: Elaboración propia.

6.2 Compendio de datos.

La estación con la que se efectuara el ejemplo es la estación de Puente Lleras, la cual presenta la información que se presenta en la Tabla 2:

Tabla 2: Información de la estación^c

Nombre	Pte. Lleras
Código	35017020
Tipo	LG
Corriente	Meta
M/cpio	Pto. López
Dpto.	Meta
Latitud	0406-N 7256
Longitud	0406-N 7256
Instalación	mar-72

Para empezar, se debe tomar los datos que ha recogido la estación a lo largo de su historia con el objeto de hacer un análisis estadístico y probabilístico que mas adelante permitirá el desarrollo del modelo.

En la Tabla 3 se muestran los datos de caudales en m³/s, que ha tomado la estación en todo su periodo de funcionamiento:

Tabla 3: Datos recopilados por la estación Pte. Lleras^d.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
1981	209.600	208.200	356.600	681.000	928.500	890.000	818.500	513.000	525.000	593.000	884.500	513.000
1982	316.000	325.000	313.000	387.000	1.385.000	1.338.000	1.117.000	951.000	844.000	1.081.000	893.000	616.000
1983	395.000	376.000	388.000	1.054.000	1.059.000	874.000	948.000	1.040.000	939.000	920.000	920.000	555.000
1984	242.000	808.000	293.000	655.000	1.170.000	1.199.000	1.107.000	977.000	777.000	839.000	547.000	429.000
1985	123.000	78.000	95.000	273.000	938.000	1.074.000	769.000	780.000	804.000	773.000	614.000	653.100
1986	103.000	221.000	495.000	751.000	907.000	1.314.000	1.647.000	875.000	941.000	941.000	727.000	357.000
1987	133.000	336.000	417.000	684.000	786.000	835.000	1.289.000	920.000	598.000	878.000	620.000	442.000
1988	196.000	117.000	42.000	186.000	616.000	962.000	1.100.000	856.000	786.000	526.000	712.000	539.000
1989	258.000	192.000	315.000	470.000	980.000	1.172.000	831.000	757.000	866.000	773.000	520.000	404.000
1990	277.000	347.000	684.000	908.000	1.262.000	1.568.000	1.028.000	728.000	594.000	451.000	613.000	815.000
1991	128.200	164.000	270.700	597.000	880.000	851.000	925.000	880.000	818.400	721.500	829.200	452.500
1992	168.600	170.300	300.800	551.200	741.500	850.200	682.600	585.800	633.600	633.600	475.900	520.300
1993	186.400	175.200	361.000	682.800	831.400	931.800	875.400	961.200	893.000	659.800	875.400	542.800
1994	176.000	160.000	521.000	902.000	928.000	1.045.000	1.089.000	840.000	797.000	928.000	652.000	521.000
1995	442.800	102.200	180.800	701.500	777.000	906.000	817.800	890.000	603.000	705.000	777.000	249.700
1996	112.000	311.000	160.000	502.000	1.019.000	844.000	837.000	860.000	578.000	755.000	643.000	705.000
1997	234.400	399.800	263.800	660.000	874.000	747.200	792.000	654.000	687.200	568.000	624.000	263.800
1998	141.800	399.800	171.700	871.000	808.000	846.400	817.600	756.800	639.000	642.000	760.000	378.200
1999	268.000	660.000	427.600	877.000	817.600	798.400	654.000	690.600	642.000	760.000	612.000	402.500
2000	110.000	194.000	334.000	576.000	1.069.000	900.000	799.000	636.000	650.000	708.000	544.000	461.000
2001	388.000	165.500	301.300	502.100	820.700	887.800	778.000	688.700	778.000	648.000	660.000	567.000
2002	353.000	85.000	518.000	759.000	900.000	1.108.000	839.000	731.000	600.000	768.000	854.200	405.000
2003	120.300	80.350	357.800	963.300	1.001.000	1.039.000	1.025.000	863.300	845.000	1.044.000	675.300	700.800
2004	165.900	364.000	456.000	872.300	1.107.000	1.156.000	1.081.000	1.020.000	863.300	637.000	895.100	872.300
2005	244.900	439.000	167.800	954.300	1.058.000	1.058.000	972.500	795.000	496.500	958.800	1.020.000	318.100
2006	357.800	274.300	831.400	945.200	1.134.000	958.800	826.800	840.500	927.000	1.151.000	1.098.000	445.800
2007	153.300	99.000	432.200	1.025.000	1.116.000	1.147.000	1.151.000	886.000	777.000	588.000	637.000	279.200
2008	157.300	86.300	119.200	556.000	1.044.000	1.103.000	1.103.000	863.300	683.800	772.500	1.025.000	683.800
2009	289.000	160.000	389.300	817.800	786.000	1.039.000	1.085.000	876.900	723.000	696.500	425.400	242.400
2010	82.050	123.800	813.200	1.098.000	945.200	1.067.000	1.094.000	732.000	536.700	772.500	977.000	763.500

^c Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

^d Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

6.3 Series de tiempo de caudales.

Una vez se tienen todos los datos con los que cuenta la estación, se procede a obtener los datos máximos, mínimos y medio para cada año de medición, como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4: Datos máximos y mínimos anuales^e.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Máx	Mín
1981	209,600	208,200	356,600	681,000	928,500	890,000	818,500	513,000	525,000	593,000	884,500	513,000	928,50	208,20
1982	316,000	325,000	313,000	987,000	1,385,000	1,338,000	1,117,000	951,000	844,000	1,081,000	893,000	616,000	1,385,00	313,00
1983	395,000	376,000	388,000	1,054,000	1,059,000	874,000	948,000	1,040,000	939,000	920,000	920,000	555,000	1,059,00	376,00
1984	242,000	808,000	293,000	655,000	1,170,000	1,199,000	1,107,000	977,000	777,000	839,000	547,000	429,000	1,199,00	242,00
1985	123,000	78,000	95,000	273,000	938,000	1,074,000	769,000	780,000	804,000	773,000	614,000	653,100	1,074,00	78,00
1986	103,000	221,000	495,000	751,000	907,000	1,314,000	1,647,000	875,000	941,000	941,000	727,000	357,000	1,647,00	103,00
1987	133,000	336,000	417,000	684,000	786,000	835,000	1,289,000	920,000	598,000	878,000	620,000	442,000	1,289,00	133,00
1988	196,000	117,000	42,000	186,000	616,000	962,000	1,100,000	856,000	786,000	526,000	712,000	539,000	1,100,00	42,00
1989	258,000	192,000	315,000	470,000	980,000	1,172,000	831,000	757,000	866,000	773,000	520,000	404,000	1,172,00	192,00
1990	277,000	347,000	684,000	908,000	1,262,000	1,568,000	1,028,000	728,000	594,000	451,000	613,000	815,000	1,568,00	277,00
1991	128,200	164,000	270,700	537,000	880,000	851,000	925,000	880,000	816,400	721,500	829,200	452,500	925,00	128,20
1992	168,600	170,300	300,800	551,200	741,500	850,200	682,600	585,800	633,600	633,600	475,900	520,300	850,20	168,60
1993	186,400	175,200	361,000	682,800	831,400	931,800	875,400	961,200	893,000	659,800	875,400	542,800	961,20	175,20
1994	176,000	160,000	521,000	902,000	928,000	1,045,000	1,089,000	840,000	797,000	928,000	652,000	521,000	1,089,00	160,00
1995	442,800	102,200	180,800	701,500	777,000	906,000	817,800	890,000	603,000	705,000	777,000	249,700	906,00	102,20
1996	112,000	311,000	160,000	502,000	1,019,000	844,000	837,000	860,000	578,000	755,000	643,000	705,000	1,019,00	112,00
1997	234,400	399,800	263,800	660,000	874,000	747,200	732,000	654,000	687,200	568,000	624,000	263,800	874,00	234,40
1998	441,800	399,800	171,700	871,000	808,000	846,400	817,600	756,800	639,000	642,000	760,000	376,200	871,00	441,80
1999	268,000	660,000	427,600	877,000	817,600	798,400	654,000	690,600	642,000	760,000	612,000	402,500	877,00	268,00
2000	110,000	194,000	334,000	576,000	1,069,000	900,000	799,000	636,000	650,000	708,000	544,000	461,000	1,069,00	110,00
2001	388,000	165,500	301,300	502,100	820,700	887,800	778,000	688,700	778,000	648,000	660,000	567,000	887,80	165,50
2002	353,000	85,000	518,000	759,000	900,000	1,108,000	839,000	731,000	600,000	768,000	854,200	405,000	1,108,00	85,00
2003	120,300	80,350	357,800	963,300	1,001,000	1,039,000	1,025,000	863,300	845,000	1,044,000	675,300	700,800	1,044,00	80,35
2004	165,900	364,000	456,000	872,300	1,107,000	1,156,000	1,081,000	1,020,000	863,300	637,000	895,100	872,300	1,156,00	165,90
2005	244,900	439,000	167,800	954,300	1,058,000	1,058,000	972,500	795,000	496,500	958,800	1,020,000	316,100	1,058,00	167,80
2006	357,800	274,300	831,400	945,200	1,134,000	958,800	826,800	840,500	927,000	1,151,000	1,098,000	445,800	1,151,00	274,30
2007	153,300	99,000	432,200	1,025,000	1,116,000	1,147,000	1,151,000	886,000	777,000	588,000	637,000	279,200	1,151,00	99,00
2008	157,300	86,300	119,200	556,000	1,044,000	1,103,000	1,103,000	863,300	683,800	772,500	1,025,000	683,800	1,103,00	86,30
2009	289,000	160,000	389,300	817,800	786,000	1,039,000	1,085,000	876,900	723,000	696,500	425,400	242,400	1,085,00	160,00
2010	82,050	123,800	813,200	1,098,000	945,200	1,067,000	1,094,000	732,000	536,700	772,500	977,000	763,500	1,098,00	82,05

6.4 Grafica de caudales máximos mensuales multianuales.

Ya con los datos organizados, se realiza una gráfica de los caudales máximos multianuales, esta se hace caudales vs. Fecha y es la que se presenta en la Figura 2:

^e Fuente: Elaboración Propia.

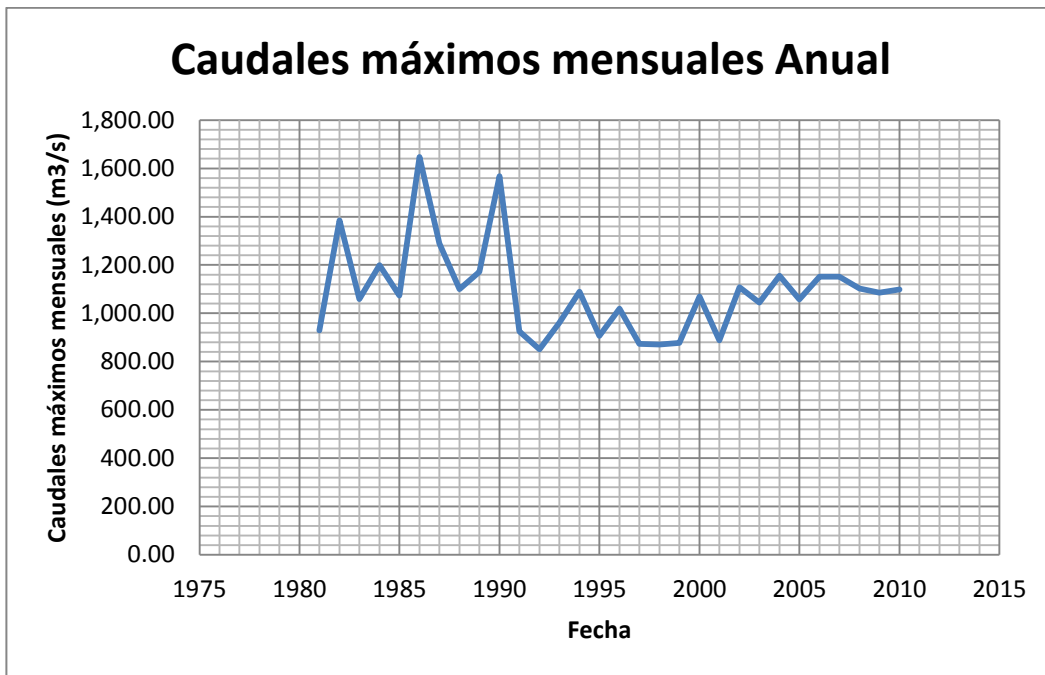


Figura 2 Caudales máximos mensuales multianual.^f

6.5 Histograma de caudales máximos mensuales multianual.

Ahora con los datos máximos, mínimos y medios se hace el histograma para cada uno de los datos tomados (máximos, mínimos y medios). Esto se hace empleando la fórmula de Freedman-Diaconis para el número de clases.

Freedman-Diaconis (1981)

$$\# \text{ de Clases} = \frac{r n^{1/3}}{2 IQR}$$

Dónde:

IQR = Intervalo intercuartil de la muestra

n = Número de datos de la muestra

r = Rango

Para obtener el valor de IQR(x), se toman todos los datos de la muestra para cada valor; máximo, mínimo: la Tabla 5 muestra estos datos

^f Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Máximos, mínimos y medios de la muestra⁹.

Máx.	Min
928,50	208,20
1.385,00	313,00
1.059,00	376,00
1.199,00	242,00
1.074,00	78,00
1.647,00	103,00
1.289,00	133,00
1.100,00	42,00
1.172,00	192,00
1.568,00	277,00
925,00	128,20
850,20	168,60
961,20	175,20
1.089,00	160,00
906,00	102,20
1.019,00	112,00
874,00	234,40
871,00	141,80
877,00	268,00
1.069,00	110,00
887,80	165,50
1.108,00	85,00
1.044,00	80,35
1.156,00	165,90
1.058,00	167,80
1.151,00	274,30
1.151,00	99,00
1.103,00	86,30
1.085,00	160,00
1.098,00	82,05

Ahora lo que se hace es obtener los cuartiles Q_1 , Q_2 , Q_3 , estos se obtienen de la siguiente manera:

El Q_1 corresponde al dato que se encuentra en el 25% de toda la columna.

⁹ Fuente: Elaboración propia

El Q_2 corresponde al dato que se encuentra en el 50% de toda la columna.
 El Q_3 corresponde al dato que se encuentra en el 75% de toda la columna.
 De esta manera la obtención de los cuartiles para los máximos se presentan en la Tabla 6:

Tabla 6: Cuartiles (Q_1, Q_2, Q_3) para los máximos.^h

Máx.	Cuartiles
850,20	
871,00	
874,00	
877,00	
887,80	
906,00	
925,00	
928,50	928,50
961,20	
1.019,00	
1.044,00	
1.058,00	
1.059,00	
1.069,00	
1.074,00	
1.085,00	1079,5
1.089,00	
1.098,00	
1.100,00	
1.103,00	
1.108,00	
1.151,00	
1.151,00	1.151,00
1.156,00	
1.172,00	
1.199,00	
1.289,00	
1.385,00	
1.568,00	
1.647,00	

^h Fuente: Elaboración propia.

Para el cuartil del centro (Q_2), se halla haciendo un promedio entre los datos que están sombreados para hallar cada cuartil, de la siguiente manera:

$$Q_1 = 928,50 = 928,50$$

$$Q_2 = \frac{1.074,00+1.085,00}{2} = 1079,5$$

$$Q_3 = 1151,00 = 1151,00$$

Cuando se tienen los cuartiles ahora se puede obtener el intervalo intercuartil (IQR) que es necesario para el cálculo del número de clases con el que se realiza el histograma.

$$\text{IQR}(x) \text{ máx.} = Q_3 - Q_1$$

$$\text{IQR}(x) \text{ máx.} = 1151,00 - 928,50$$

$$\text{IQR}(x) \text{ máx.} = 222,50$$

Ahora se toman el máximo y el mínimo de toda la muestra y se obtiene el rango.

$$\text{Rango} = \text{Máx.} - \text{Mín.}$$

$$\text{Rango} = 1.647,00 - 850,20$$

$$\text{Rango} = 796,80$$

Una vez se halla calculado el intervalo intercuartil se puede calcular el número de clases de la muestra, esto se hace de la siguiente manera, y en la Tabla 7 se muestra los datos calculados:

$$\# \text{ De clases} = 796,80 * 30^{1/3} / 2 * 222,50$$

$$\# \text{ De clases} = 6$$

Tabla 7: Descripción de datos del histograma.ⁱ

# de Clases	6
Min.	850,20
Max.	1.647,00
Rango	796,80
# de Datos	30

ⁱ Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 8 corresponde al arreglo estadístico de frecuencias relativas y acumuladas necesarias para graficar el histograma de frecuencias.

Tabla 8: Frecuencias para construcción del histograma.^j

Intervalo	Mínimo	Máximo	Caudales (m ³ /s)	# de datos	F. Relativa	F. Acumulada
1	850,20	983	916,6	9	0,300	0,300
2	983	1115,8	1049,4	12	0,400	0,700
3	1115,8	1248,6	1182,2	5	0,167	0,867
4	1248,6	1381,4	1315	1	0,033	0,900
5	1381,4	1514,2	1447,8	1	0,033	0,933
6	1514,2	1647	1580,6	2	0,067	1,000

Para realizar la tabla de frecuencias, se toma el mínimo de toda la serie, este se suma al cociente del rango y el número de clases, y como resultado se obtiene el valor máximo del primer intervalo. Siguiendo se toma el promedio de los dos límites del intervalo, el cual se calcula sumando los límites y dividiéndolos en 2, este valor es de caudales máximos mensuales para ese intervalo. Para obtener el número de datos basta con contar cuantos valores dentro de toda la serie de máximos se encuentran en este intervalo de valores. La frecuencia relativa del histograma se calcula dividiendo el número de datos del intervalo sobre el número de datos total de la serie de máximos. Y por último la frecuencia acumulada es la suma de las frecuencias relativas en cada intervalo.

Para realizar el histograma se grafica la frecuencia relativa vs. Los caudales máximos mensuales.

En la Figura 3 se muestra la gráfica del histograma que se realizó con los datos de la Tabla 8. Este histograma representa el comportamiento de los caudales con respecto una probabilidad de ocurrencia.

^j Fuente: Elaboración propia.

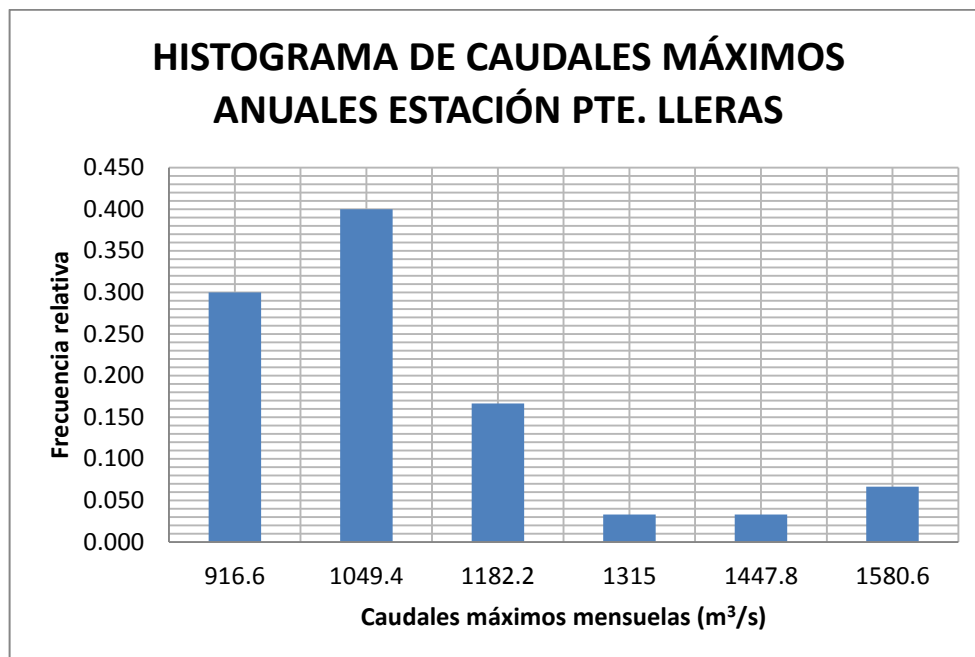


Figura 3 Histograma de caudales máximos mensuales de la estación Pte. Lleras.^k

6.6 Resumen numérico de la serie.

En este punto se muestra un resumen numérico de la serie de caudales máximos mensuales para la estación de Pte. Lleras, este resumen consta de elementos de estadística los cuales son empleados para el desarrollo de la regionalización de caudales. Estos elementos que conforman la serie se obtienen mediante las herramientas de Excel 2010 para agilizar el proceso, aprovechando los instrumentos con las que se cuentan para facilitar la labor.

El resumen numérico que se muestra en la Tabla 9, es una serie de fundamentos básicos de estadística que permiten la creación del Box Plot, el cual es una herramienta aplicada a la hidrología que se explicara más adelante.

^k Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Resumen numérico estadístico de la serie de tiempo de caudales máximos mensuales¹

Parámetro	Valor	Unidades
Número de datos	30	
Número de datos faltantes	0	
Media Aritmética	1090,16	m ³ /s
Media Armónica	1062,54	m ³ /s
Media Geométrica	1075,69	m ³ /s
Mediana	1.079,50	m ³ /s
Moda	1151	m ³ /s
Máximo	1.647,00	m ³ /s
Mínimo	850,20	m ³ /s
Rango	796,80	m ³ /s
Percentil 25	928,50	m ³ /s
Percentil 75	1.151,00	m ³ /s
Rango Intercuartílico	222,50	m ³ /s
Desviación absoluta Media	130,33	m ³ /s
Desviación Estándar	190,14	m ³ /s
Coefficiente de variación	17,44	%
Varianza	36152,10	(m ³ /s) ²
Coefficiente de asimetría	1,26	
Coefficiente de sesgo	4,7	

6.7 Box Plot de la serie.

Ahora que se tienen los datos estadísticos de las series de tiempo de los caudales máximos, se procede a hacer un Box Plot, esto es un resumen gráfico del comportamiento de los eventos hidrológicos, en este caso de los caudales máximos.

Para realizar el Box Plot se toman los datos del resumen numérico y mediante la solución de unas ecuaciones y los datos que se obtienen de los cuartiles, que son presentados en la Tabla 10 se construye una gráfica a manera de caja.

¹ Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Datos arreglados para la construcción del Box Plot.^m

Parámetros		Valor
Máximo		1.647,00
Percentil 25		928,50
Media		1090,16
Mediana		1.079,50
Percentil 75		1.151,00
Mínimo		850,20
Rango Intercuartílico		222,50
Q ₇₅ + 1,5 IQR	0,45	1484,75
Q ₇₅ + 1,5 IQR	0,55	1484,75
Línea Superior	0,5	1484,75
Línea Superior	0,5	1.151,00
Q ₇₅	0,45	1.151,00
Q ₇₅	0,55	1.151,00
Línea	0,45	1.151,00
Línea	0,45	928,50
Q ₅₀	0,45	1.079,50
Q ₅₀	0,55	1.079,50
Línea	0,55	1.151,00
Línea	0,55	928,50
Q ₂₅	0,45	928,50
Q ₂₅	0,55	928,50
Línea inferior	0,5	928,50
Línea Inferior	0,5	850,20
Q ₂₅ - 1,5 IQR	0,45	850,20
Q ₂₅ - 1,5 IQR	0,55	850,20

Los valores de la columna del centro comprendidos entre 0,45 y 0,55 son necesarios para poder darle la forma a la gráfica, estos se emplean simplemente para hacer las líneas que conforman el Box Plot. En la Tabla 11 se muestra como se obtienen los datos de la última columna del Box Plot.

^m Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Obtención de los valores para el Box Plot.ⁿ

Parámetro		Valor	Obtención del valor
Q75 + 1,5 IQR	0,45	1484,75	SI(Q75+1,5*IQR>Máx.;Máx;Q75+1,5*IQR)
Q75 + 1,5 IQR	0,55	1484,75	SI(Q75+1,5*IQR>Máx.;Máx;Q75+1,5*IQR)
Línea Superior	0,5	1484,75	SI(Q75+1,5*IQR>Máx.;Máx;Q75+1,5*IQR)
Línea Superior	0,5	1151	Q75
Q75	0,45	1151	Q75
Q75	0,55	1151	Q75
Línea	0,45	1151	Q75
Línea	0,45	928,5	Q25
Q50	0,45	1079,5	Mediana
Q50	0,55	1079,5	Mediana
Línea	0,55	1151	Q75
Línea	0,55	928,5	Q25
Q25	0,45	928,5	Q25
Q25	0,55	928,5	Q25
Línea inferior	0,5	928,5	Q25
Línea Inferior	0,5	850,2	SI(Q25+1,5*IQR>Min.;Min;Q25+1,5*IQR)
Q25 - 1,5 IQR	0,45	850,2	SI(Q25+1,5*IQR>Min.;Min;Q25+1,5*IQR)
Q25 - 1,5 IQR	0,55	850,2	SI(Q25+1,5*IQR>Min.;Min;Q25+1,5*IQR)

Los condicionales que se presentan en la Tabla 11 como:

- SI (Q75+1,5*IQR>Máx.;Máx;Q75+1,5*IQR)
- SI(Q25+1,5*IQR>Min.;Min;Q25+1,5*IQR)

Son condicionales que se programan en Excel 2010 tal como se muestra en la última columna de la Tabla 11.

Ahora se mostrara la construcción del Box Plot en la Figura 4: Box Plot de caudales máximos máximo anual estación Pte. Lleras.

ⁿ Fuente: Elaboración propia.

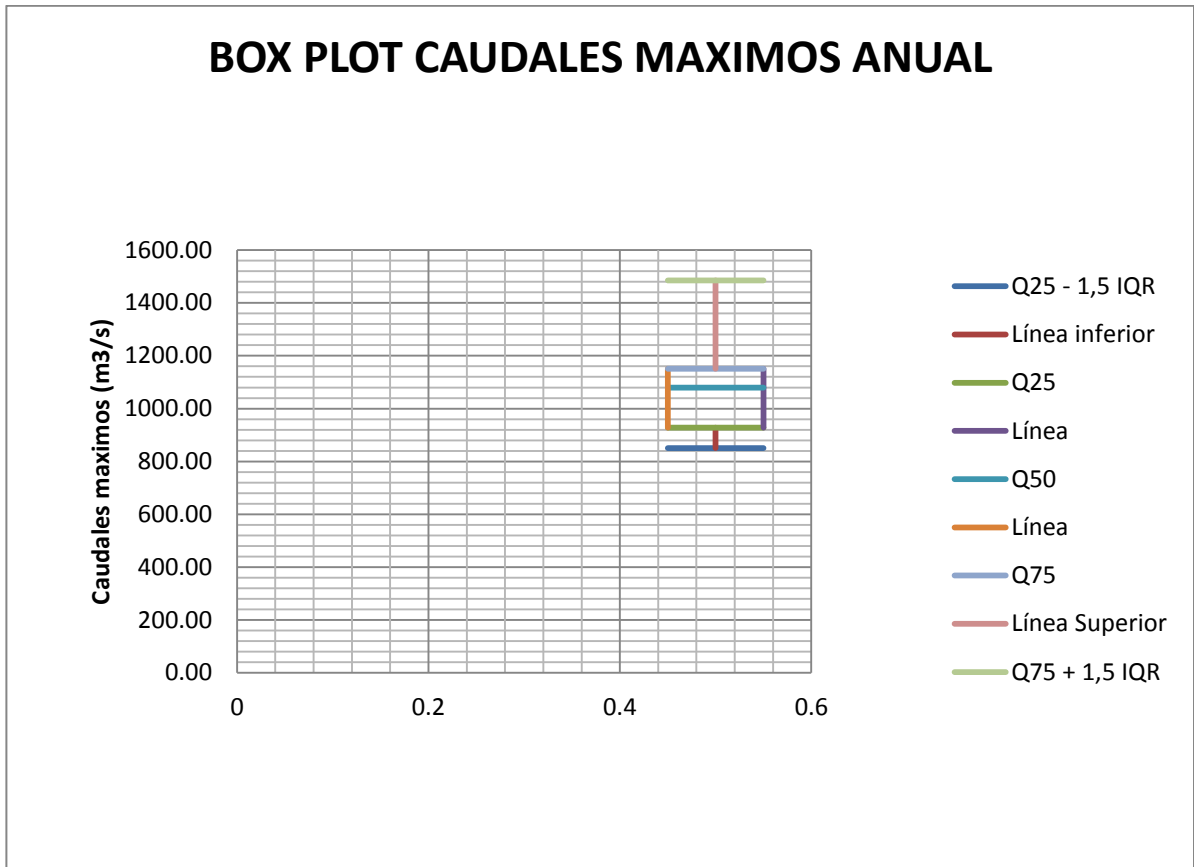


Figura 4: Box Plot de caudales máximos máximo anual estación Pte. Lleras.^o

Ahora se hacen los Box Plot de todos los meses con la misma metodología que se describió anteriormente, para el Box Plot de caudal máximo anual.

Tabla 12 se expresan los datos estadísticos de los máximos mensuales de todos los años, que se obtienen de la misma manera como se hizo para el Box Plot creado anteriormente.

Tabla 13 se presentan los datos mensuales arreglados para la construcción de los Box Plot mensuales multianuales, que se calculan como ya se explicó con el Box Plot máximo multianual.

^o Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Datos estadísticos mensuales de caudales estación Pte. Lleras^a.

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Máximo	442,80	808,00	831,40	1098,00	1385,00	1568,00	1647,00	1040,00	941,00	1151,00	1098,00	872,30
Percentil 75	277,00	347,00	432,20	908,00	1059,00	1108,00	1094,00	886,00	844,00	878,00	884,50	616,00
Media	217,75	254,06	359,21	735,42	956,30	1016,99	963,31	814,94	728,18	763,07	737,00	503,26
Mediana	191,20	193,00	345,30	726,25	933,25	1000,50	936,50	848,25	750,00	757,50	693,65	487,00
Percentil 25	133,00	123,80	263,80	576,00	820,70	874,00	817,80	731,00	603,00	642,00	614,00	402,50
Mínimo	82,05	78,00	42,00	186,00	616,00	747,20	654,00	513,00	496,50	451,00	425,40	242,40
Rango Intercuatílico	144,00	223,20	168,40	332,00	238,30	234,00	276,20	155,00	241,00	236,00	270,50	213,50

Tabla 13 Datos estadísticos Box Plot Mensuales.^b

	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
Q ₇₅ + 1,5 IQR	0,30	442,80	1,30	681,80	2,30	684,80	3,30	1098,00	4,30	1385,00	5,30	1459,00
Q ₇₅ + 1,5 IQR	0,70	442,80	1,70	681,80	2,70	684,80	3,70	1098,00	4,70	1385,00	5,70	1459,00
Línea Superior	0,50	442,80	1,50	681,80	2,50	684,80	3,50	1098,00	4,50	1385,00	5,50	1459,00
Línea Superior	0,50	277,00	1,50	347,00	2,50	432,20	3,50	908,00	4,50	1059,00	5,50	1108,00
Q ₇₅	0,30	277,00	1,30	347,00	2,30	432,20	3,30	908,00	4,30	1059,00	5,30	1108,00
Q ₇₅	0,70	277,00	1,70	347,00	2,70	432,20	3,70	908,00	4,70	1059,00	5,70	1108,00
Línea	0,30	277,00	1,30	347,00	2,30	432,20	3,30	908,00	4,30	1059,00	5,30	1108,00
Línea	0,30	133,00	1,30	123,80	2,30	263,80	3,30	576,00	4,30	820,70	5,30	874,00
Q ₅₀	0,30	191,20	1,30	193,00	2,30	345,30	3,30	726,25	4,30	933,25	5,30	1000,50
Q ₅₀	0,70	191,20	1,70	193,00	2,70	345,30	3,70	726,25	4,70	933,25	5,70	1000,50
Línea	0,70	277,00	1,70	347,00	2,70	432,20	3,70	908,00	4,70	1059,00	5,70	1108,00
Línea	0,70	133,00	1,70	123,80	2,70	263,80	3,70	576,00	4,70	820,70	5,70	874,00
Q ₂₅	0,30	133,00	1,30	123,80	2,30	263,80	3,30	576,00	4,30	820,70	5,30	874,00
Q ₂₅	0,70	133,00	1,70	123,80	2,70	263,80	3,70	576,00	4,70	820,70	5,70	874,00
Línea inferior	0,50	133,00	1,50	123,80	2,50	263,80	3,50	576,00	4,50	820,70	5,50	874,00
Línea Inferior	0,50	82,05	1,50	78,00	2,50	42,00	3,50	186,00	4,50	616,00	5,50	747,20
Q ₂₅ - 1,5 IQR	0,30	82,05	1,30	78,00	2,30	42,00	3,30	186,00	4,30	616,00	5,30	747,20
Q ₂₅ - 1,5 IQR	0,70	82,05	1,70	78,00	2,70	42,00	3,70	186,00	4,70	616,00	5,70	747,20

^a Fuente: Elaboración propia.

^b Fuente: Elaboración Propia.

	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Q ₇₅ + 1,5 IQR	6,30	1508,30	7,30	1040,00	8,30	941,00	9,30	1151,00	10,30	1098,00	11,30	872,30
Q ₇₅ + 1,5 IQR	6,70	1508,30	7,70	1040,00	8,70	941,00	9,70	1151,00	10,70	1098,00	11,70	872,30
Línea Superior	6,50	1508,30	7,50	1040,00	8,50	941,00	9,50	1151,00	10,50	1098,00	11,50	872,30
Línea Superior	6,50	1094,00	7,50	886,00	8,50	844,00	9,50	878,00	10,50	884,50	11,50	616,00
Q ₇₅	6,30	1094,00	7,30	886,00	8,30	844,00	9,30	878,00	10,30	884,50	11,30	616,00
Q ₇₅	6,70	1094,00	7,70	886,00	8,70	844,00	9,70	878,00	10,70	884,50	11,70	616,00
Línea	6,30	1094,00	7,30	886,00	8,30	844,00	9,30	878,00	10,30	884,50	11,30	616,00
Línea	6,30	817,80	7,30	731,00	8,30	603,00	9,30	642,00	10,30	614,00	11,30	402,50
Q ₅₀	6,30	936,50	7,30	848,25	8,30	750,00	9,30	757,50	10,30	693,65	11,30	487,00
Q ₅₀	6,70	936,50	7,70	848,25	8,70	750,00	9,70	757,50	10,70	693,65	11,70	487,00
Línea	6,70	1094,00	7,70	886,00	8,70	844,00	9,70	878,00	10,70	884,50	11,70	616,00
Línea	6,70	817,80	7,70	731,00	8,70	603,00	9,70	642,00	10,70	614,00	11,70	402,50
Q ₂₅	6,30	817,80	7,30	731,00	8,30	603,00	9,30	642,00	10,30	614,00	11,30	402,50
Q ₂₅	6,70	817,80	7,70	731,00	8,70	603,00	9,70	642,00	10,70	614,00	11,70	402,50
Línea inferior	6,50	817,80	7,50	731,00	8,50	603,00	9,50	642,00	10,50	614,00	11,50	402,50
Línea Inferior	6,50	654,00	7,50	513,00	8,50	496,50	9,50	451,00	10,50	425,40	11,50	242,40
Q ₂₅ - 1,5 IQR	6,30	654,00	7,30	513,00	8,30	496,50	9,30	451,00	10,30	425,40	11,30	242,40
Q ₂₅ - 1,5 IQR	6,70	654,00	7,70	513,00	8,70	496,50	9,70	451,00	10,70	425,40	11,70	242,40

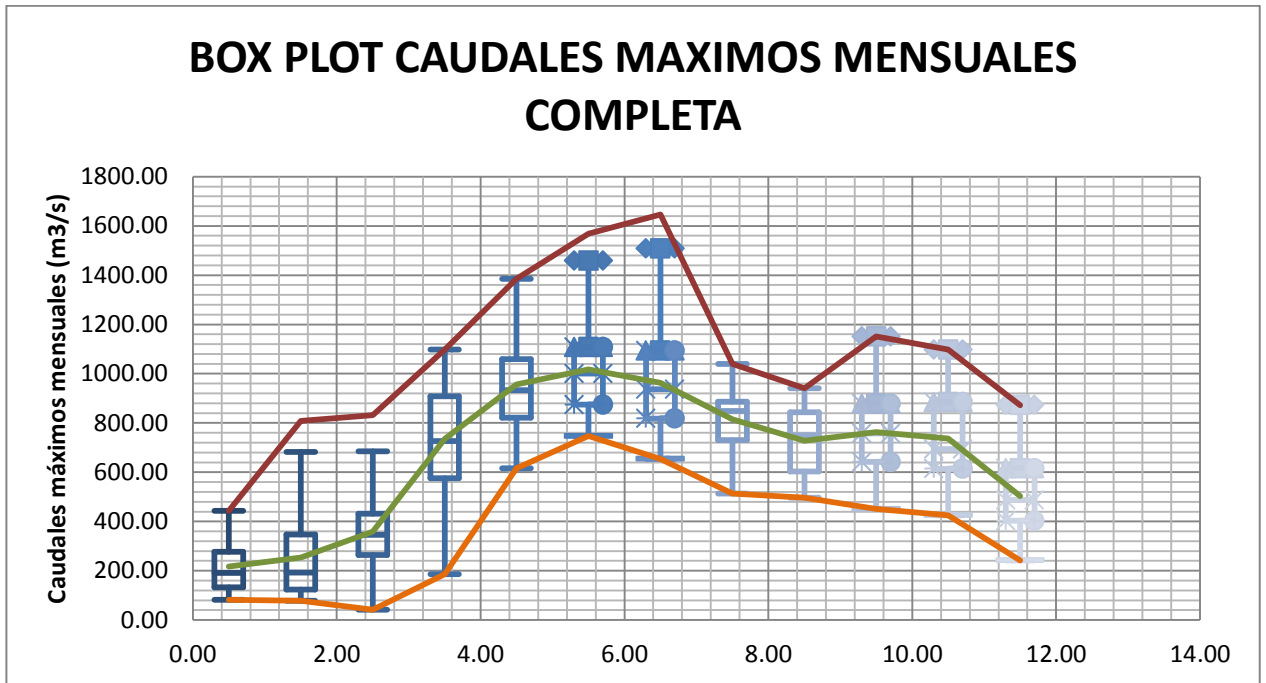


Figura 5: Gráfica Box Plot mensuales.^a

En la Figura 5 se puede ver el resumen del comportamiento de los caudales a través del tiempo de registro de la estación con sus máximos, mínimos y medios.

6.8 Ajuste de distribuciones.

El ajuste de distribuciones consiste en realizar diferentes distribuciones de probabilidad para las series de tiempo. Estas distribuciones presentan unas ecuaciones que se conocen como función de densidad de probabilidad, que permiten mediante el reemplazo de datos en la función obtener los resultados y crear una gráfica de ajuste y mediante una prueba de bondad de ajuste se selecciona la distribución más confiable para crear el modelo de regionalización.

Las distribuciones de probabilidad con las que se trabajaran presentan características, funciones y condiciones que se presentan en la Tabla 14 a continuación

^a Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Distribuciones de probabilidad.^a

Distribución	Función de Densidad de Probabilidad	Rango	Ecuaciones de los parámetros en términos de los momentos de la muestra
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}$	$-\infty \leq x \leq \infty$	$\mu = \bar{x}; \sigma = S_x$
LogNormal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}$	$x > 0$	$\mu_y = \bar{Y}; \sigma = S_y$
Exponencial	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$x \geq 0$	$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$
Gamma	$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)}$	$x \geq 0$	$\lambda = \frac{\bar{x}}{S_x^2}$ $\beta = \frac{\bar{x}^2}{S_x^2}$
Valor Extremo	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{x-u}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)^\beta\right]$	$-\infty \leq x \leq \infty$	$\lambda = \frac{\sqrt{6}S_x}{\pi}$ $\beta = \frac{\bar{x}}{0,5772\alpha}$
Weibull	$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$	$x \geq 0$	
Uniforme	$f(x) = \frac{1}{b-a}$	$a < x \leq b$ $-\infty < a, b < \infty$	$a < b$
Pareto Generalizado	$f(x) = \frac{1}{\sigma} (1 + \xi z)^{-\frac{1}{\xi+1}}$	$\xi \neq 0$	$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$
GEV	$f(x) = \exp \left[- \left(1 - k \frac{x - \beta}{\alpha} \right)^{\frac{1}{k}} \right]$	$-\infty \leq x \leq \left(\beta + \frac{\alpha}{k} \right)$	$k > 0$

^a Fuentes: Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays. Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill, Santa fe de Bogotá 1994. Ciro Martínez. Estadística y Muestreo. Décimo segunda edición. ECOE Ediciones. Bogotá 2005

Con las distribuciones que se tienen en la Tabla 14, se reemplazan los datos de marca de clase para la frecuencia relativa y frecuencia acumulada, en cada una de las funciones de densidad de probabilidad obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 15 y en la Tabla 16. Cabe aclarar que los resultados obtenidos en la distribución de probabilidades de las frecuencias acumuladas es la suma de las frecuencias relativas en cada distribución, de manera que la frecuencia acumulada de la segunda marca de clase va a ser la suma de las dos primeras frecuencias relativas, y así sucesivamente para todas las marcas de clase de las frecuencias acumuladas, en todas las distribuciones de probabilidad. Como lo definen sus iniciales CDF y PDF.

Tabla 15: Datos de Distribuciones de Probabilidad para frecuencias acumuladas.^b

CDF										
Marcas de Clase	Frecuencia Acumulada	Exponencial	Valor Extremo	Gamma	GEV	Pareto Generalizado	Log Normal	Normal	Uniforme	Weibull
916.600	0.300	0.569	0.263	0.164	0.144	0.495	0.159	0.177	0.083	0.231
1,049.400	0.700	0.618	0.417	0.430	0.497	0.573	0.439	0.414	0.250	0.422
1,182.200	0.867	0.662	0.614	0.712	0.760	0.655	0.722	0.689	0.417	0.650
1,315.000	0.900	0.701	0.814	0.893	0.890	0.740	0.895	0.885	0.583	0.846
1,447.800	0.933	0.735	0.949	0.970	0.949	0.830	0.968	0.972	0.750	0.957
1,580.600	1.000	0.765	0.995	0.993	0.975	0.933	0.992	0.996	0.917	0.994

Tabla 16: Datos de Distribuciones de Probabilidad para frecuencias relativas.^c

PDF										
Marcas de Clase	Frecuencia Relativa	Exponencial	Valor Extremo	Gamma	GEV	Pareto Generalizado	Log Normal	Normal	Uniforme	Weibull
916.600	0.300	0.569	0.263	0.164	0.144	0.495	0.159	0.177	0.083	0.231
1,049.400	0.400	0.049	0.154	0.266	0.353	0.078	0.280	0.237	0.167	0.191
1,182.200	0.167	0.044	0.197	0.282	0.263	0.081	0.284	0.275	0.167	0.227
1,315.000	0.033	0.039	0.200	0.181	0.131	0.085	0.173	0.197	0.167	0.196
1,447.800	0.033	0.034	0.135	0.077	0.059	0.091	0.073	0.087	0.167	0.111
1,580.600	0.067	0.030	0.046	0.024	0.026	0.102	0.024	0.024	0.167	0.036

Ahora que se tienen todos los resultados de cada distribución de probabilidad de las marcas de clase, se realizan las gráficas en donde se muestran las líneas de tendencia de cada una de las distribuciones de probabilidad con las que se trabajó. Estas graficas que se muestran en la Tabla 15 y Figura 7, estas figuras permiten observar cual es la distribución el comportamiento de cada distribución con respecto a las probabilidades de ocurrencia del evento. Las gráficas se construyen frecuencias (relativa y acumulativa) vs. distribución de probabilidad. En

^b Fuente: Elaboración propia.

^c Fuente: Elaboración propia.

cada grafica se presentan todas las distribuciones de probabilidad con las que se trabajó.

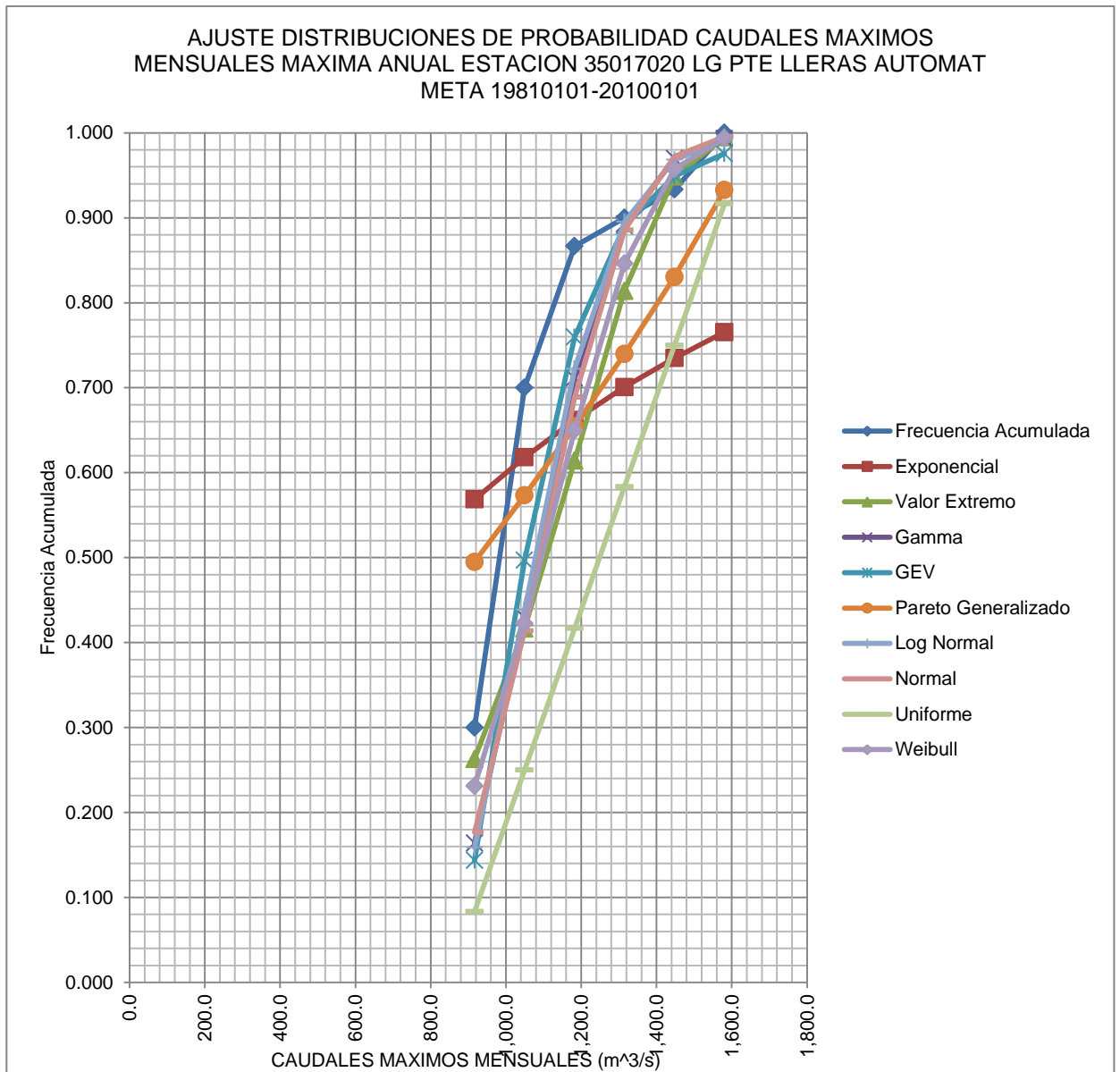


Figura 6: Ajuste de Distribuciones de Probabilidad para las frecuencias acumuladas.^d

^d Fuente: Elaboración propia.

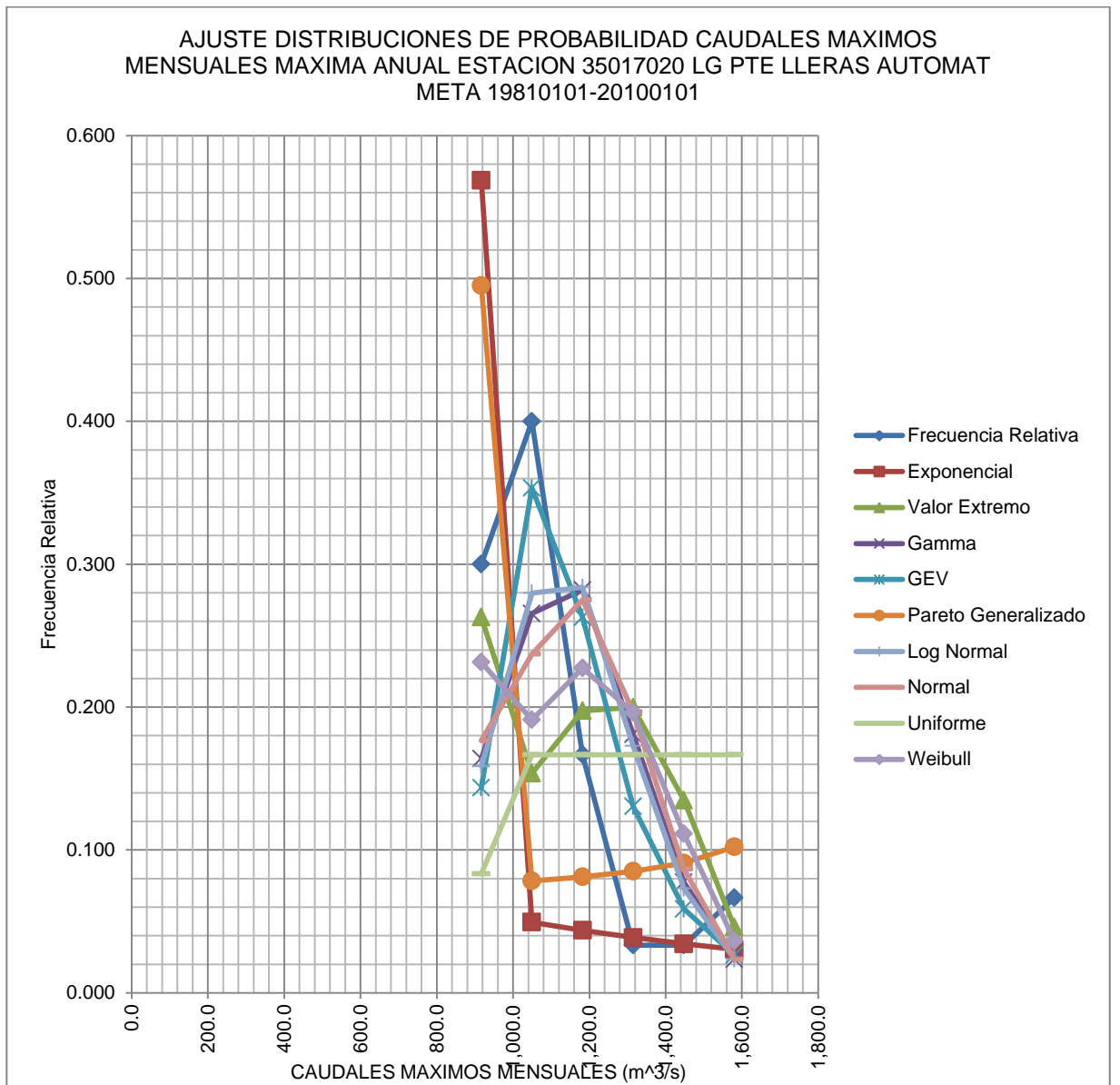


Figura 7: Ajuste de Distribuciones de Probabilidad para las frecuencias relativas.^e

^e Fuente. Elaboración propia.

6.9 Prueba de Bondad de Ajuste.

Ahora que se tienen las gráficas y las distribuciones de probabilidad, lo que se hace es seleccionar la mejor distribución para el modelo de regionalización en cada estación. Esto se hace en mediante la metodología de Chi cuadrado (X^2) para las PDF y con Kolmogorov para las CDF.

Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{i=1}^l \frac{n [f_s(x) - P(x)]^2}{P(x)}$$

En donde:

n = Numero de datos.

$f_s(x)$ = Frecuencia relativa

$P(x)$ = Observación esperada

Kolmogorov

$$D_n = \sup |F_n(x) - F_0(x)|$$

Los resultados obtenidos en cada distribución de probabilidad son reemplazados en las ecuaciones de bondad de ajuste y se obtienen los resultados de las incertidumbres de cada distribución de probabilidad, como se presentan en la Tabla 17 y la Tabla 18.

Tabla 17: Prueba de Bondad de Ajuste (Kolmogorov)^f

CDF										
Marcas de Clase	Frecuencia Acumulada	Exponencial	Valor Extremo	Gamma	GEV	Pareto Generalizado	Log Normal	Normal	Uniforme	Weibull
916.600	0.300	0.569	0.263	0.164	0.144	0.495	0.159	0.177	0.083	0.231
1,049.400	0.700	0.618	0.417	0.430	0.497	0.573	0.439	0.414	0.250	0.422
1,182.200	0.867	0.662	0.614	0.712	0.760	0.655	0.722	0.689	0.417	0.650
1,315.000	0.900	0.701	0.814	0.893	0.890	0.740	0.895	0.885	0.583	0.846
1,447.800	0.933	0.735	0.949	0.970	0.949	0.830	0.968	0.972	0.750	0.957
1,580.600	1.000	0.765	0.995	0.993	0.975	0.933	0.992	0.996	0.917	0.994
Kolmogorov	Rechazo	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO
	P Valor	0.000	0.060	0.546	0.449	0.000	0.649	0.355	0.000	0.155

^f Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Prueba de Bondad de Ajuste (Chi Cuadrado)^g

PDF										
Marcas de Clase	Frecuencia Relativa	Exponencial	Valor Extremo	Gamma	GEV	Pareto Generalizado	Log Normal	Normal	Uniforme	Weibull
916.600	0.300	0.569	0.263	0.164	0.144	0.495	0.159	0.177	0.083	0.231
1,049.400	0.400	0.049	0.154	0.266	0.353	0.078	0.280	0.237	0.167	0.191
1,182.200	0.167	0.044	0.197	0.282	0.263	0.081	0.284	0.275	0.167	0.227
1,315.000	0.033	0.039	0.200	0.181	0.131	0.085	0.173	0.197	0.167	0.196
1,447.800	0.033	0.034	0.135	0.077	0.059	0.091	0.073	0.087	0.167	0.111
1,580.600	0.067	0.030	0.046	0.024	0.026	0.102	0.024	0.024	0.167	0.036
Chi Cuadrado	Rechazo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000
	P Valor							0.001		0.001

Una vez se tengan los resultados de las pruebas de bondad de ajuste, el siguiente paso consiste en escoger la distribución de probabilidad que presente menor incertidumbre, es decir, la que tenga una probabilidad de acierto mayor. Para este caso se puede ver que la distribución con menor probabilidad es la de Log Normal en las CDF, con un ajuste de 0,649 (65%), y es presentada en la Tabla 19.

Tabla 19: Distribución De Probabilidad seleccionada mediante Prueba de Bondad de ajuste^h.

Marcas de Clase	Frecuencia Acumulada	Log Normal
916.600	0.300	0.159
1,049.400	0.700	0.439
1,182.200	0.867	0.722
1,315.000	0.900	0.895
1,447.800	0.933	0.968
1,580.600	1.000	0.992
Kolmogorov	Rechazo	FALSO
	P Valor	0.649

Con la distribución de probabilidad seleccionada, lo próximo que se hace es encontrar los caudales para los diferentes periodos de retorno que son presentados en la Tabla 20.

^g Fuente: Elaboración propia.

^h Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Caudales para diferentes Periodos de retorno con la Distribución seleccionadaⁱ

Selección	Log Normal
P Valor	0.649
2.000	1,075.692
5.000	1,230.827
10.000	1,320.629
15.000	1,367.864
20.000	1,399.708
25.000	1,423.623
30.000	1,442.717
50.000	1,494.390
75.000	1,533.800
100.000	1,561.043

6.10 Calculo de área de influencia de la estación.

Una vez se hallan se tengan todos los resultados requeridos de la estación, y con los caudales y para los diferentes periodos de retorno, lo siguiente a hacer es obtener el área de influencia de la estación dentro de la cuenca. Para este procedimiento se hace uso nuevamente del software ArcGis 10.0, nuevamente como se había explicado en la sección 6.1 Selección de estaciones. Se ingresan el shape de Colombia y después se ingresa el shape de las zonas hidrográficas del país, el cual contiene todas las cuencas del territorio nacional como se ilustra en la figura

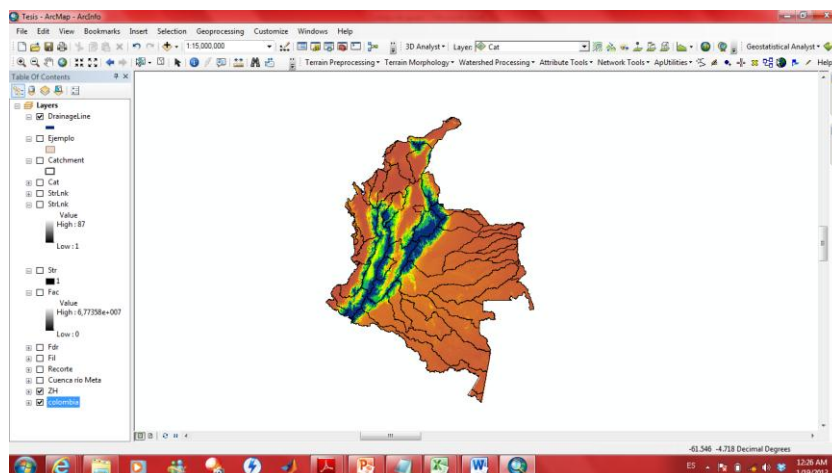


Figura 8: Territorio Nacional con las Zonas Hidrográficas^j

ⁱ Fuente: Elaboración propia.

^j Fuente: Elaboración propia.

Una vez se tenga la división de las zonas hidrográficas del país, se centra el trabajo en la cuenca de interés, que para este caso es la cuenca del río Meta. Siguiendo este orden de ideas mediante el uso de las herramientas de ArcGis 10.0 se selecciona y se recorta la cuenca en mención. Figura 9, Figura 10.

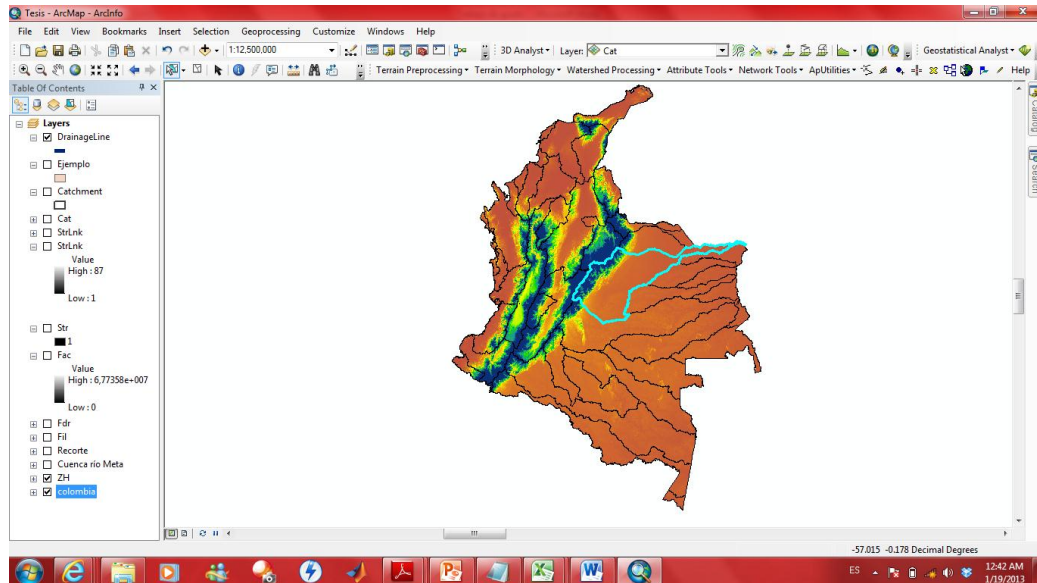


Figura 9: Selección de la Cuenca.^k

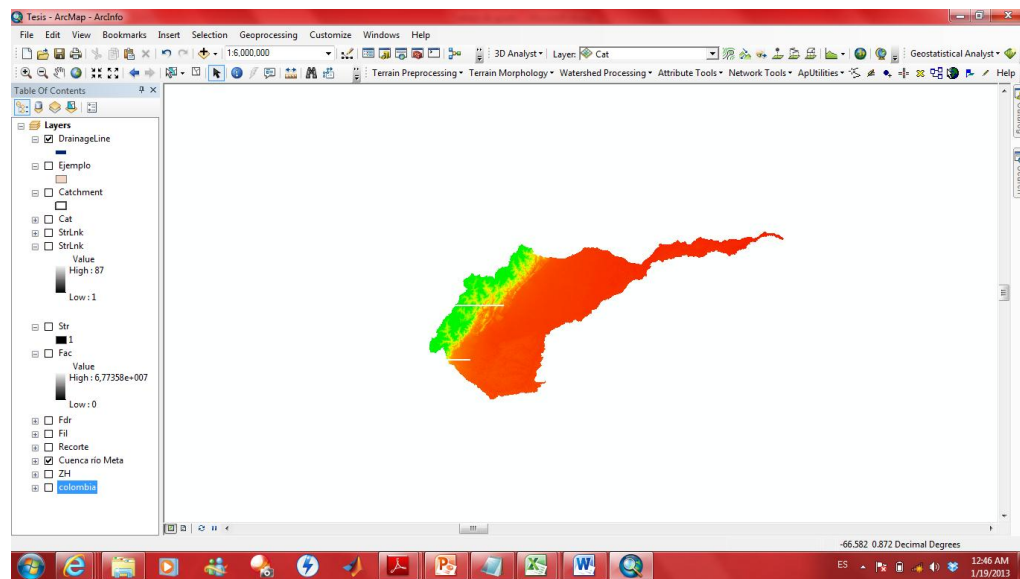


Figura 10: Cuenca del Río Meta recortada^l

^k Fuente: Elaboración propia.

^l Fuente: Elaboración propia.

La selección de la cuenca se hace con el comando de *select by rectangle*, y se da clic sobre la línea divisoria de la cuenca. Cuando ya se tiene seleccionada la cuenca, se hace el recorte de esta por medio del comando *Extract by Mask* que contiene el software.

Ahora que se tiene la cuenca de interés, se vuelve a hacer el mismo proceso de selección y recorte de áreas que se hizo con la cuenca en las Zonas Hidrográficas, sino que en este punto ya se cuenta con la división de las Sub-Zonas Hidrográficas. Para obtener el área de cada estación se procede de igual manera y el software arroja el área de cada estación.

De esta manera el área correspondiente para la estación de Pte. Lleras es la que se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21: Área de influencia de la estación Pte. Lleras^m

NOMBRE	CODIGO	TIPO	SUBCUENCA	DEPTO	MUNICIPIO	AREA(KM2)
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	LG	META	META	PUERTO LOPEZ	7719.7437

Ahora que se tiene el área de influencia de la estación y el caudal de retorno para los diferentes periodos de tiempo se procede a realizar el mismo procedimiento para las demás estaciones seleccionadas desde la sección 6.2 Compendio de datos. hasta la sección 6.10 Calculo de área de influencia de la estación. Pero ahora como se había mencionado anteriormente se va realizar todo el proceso en las 30 estaciones por medio del uso del software de Matlab , mediante la creación de un código que permita hacer todo el proceso y las operaciones que ya se realizaron.

6.11 Ecuaciones de Regionalización.

Una vez se haya procesado toda la información mediante MatLab, se tienen los resultados de las estaciones se presentan las tablas de las áreas de las estaciones con los caudales para los diferentes periodos de retorno las cuales serán empleadas para la realización de las gráficas de área vs caudales, de las cuales se obtienen las ecuaciones que permiten calcular el caudal para distintos periodos de retorno en la cuenca, contando con el área de interés donde se quiera conocer el caudal. Con el objeto de mostrar como es el procedimiento se mostrara la construcción de la gráfica y la obtención de la ecuación para un periodo de retorno de 2 años, y este mismo proceso se sigue para los diferentes periodos de retorno con todas las estaciones.

^m Fuente: elaboración propia.

Tabla 22: Caudales para un periodo de retorno de 2 Años.ⁿ

NOMBRE	CÓDIGO	ÁREA (km ²)	CAUDAL (m ³ /s)
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,075.692
CARAZA	35027100	153.581	44.729
ANIMAS LAS	35027150	104.650	47.170
GUACAPATE	35027190	1,233.516	186.861
PALMAR EL	35027200	1,353.783	314.842
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	706.808
CABLE EL	35057010	907.682	1,892.683
GLORIA LA	35067010	71.749	89.293
UBALA	35067030	65.024	71.868
BOCA LA	35067090	45.405	172.405
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	36.779
CAMOYO EL	35077050	46.702	60.301
PTE FIERRO	35077080	586.482	222.898
SAN JOSE	35077100	28.741	3.921
CARACOL EL	35077120	1,351.472	326.686
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	78.466
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,023.067
PAEZ	35087020	983.061	529.555
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	697.917
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	455.414
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	2,317.819
HUMAPO	35117010	24,752.005	3,708.778
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	264.425
VADO HONDO	35197020	199.189	84.417
ESTEROS LOS	35197030	236.969	600.290
RANCHERIAS	35197050	276.496	128.744
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	785.933
PTE LA CABANA	35217030	950.452	439.114
PLAYON EL	35217060	1,324.421	1,210.948
AGUVERDE	35267080	70,991.482	8,479.529

ⁿ Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de la Tabla 22 se construye la gráfica de la Figura 11 en escala logarítmica, donde se encuentran todos los puntos de los caudales calculados vs las áreas de influencia de las estaciones. En esta grafica se obtiene una ecuación la cual es la que finalmente permitirá calcular los caudales para un periodo de retorno de dos años en cualquier punto que se desee.

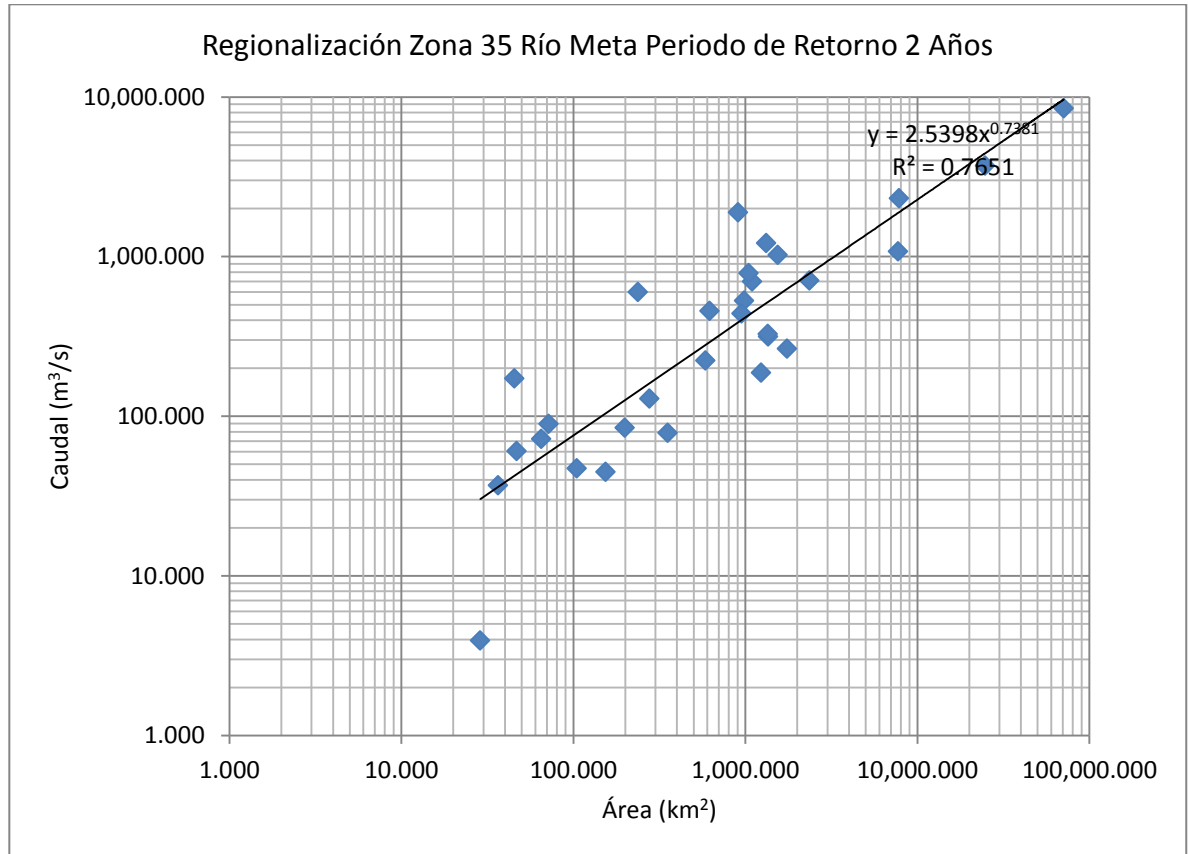


Figura 11: Regionalización de Caudales para un periodo de retorno de 2 años^o

Y esta es la ecuación que permite la regionalización de caudales:

- $y = y = 2.5398x^{0.7381}$; $R^2 = 0.7651$

Dónde:

y = Caudal pronosticado.

x = Área del rio en cual se quiere pronosticar el caudal.

^o Fuente: Elaboración propia.

Y así se sigue para todos los periodos de retorno en el área de estudio. En la Tabla 23: Ecuaciones de regionalización para diferentes periodos de retorno para caudales máximos., se muestra todas las ecuaciones para los diferentes periodos de retorno para el cálculo de los caudales máximos.

Tabla 23: Ecuaciones de regionalización para diferentes periodos de retorno para caudales máximos.^p

Tr. (Años)	Ecuación	R ²
2	$y = 2.5398x^{0.7381}$	0.7651
5	$y = 4.4462x^{0.6953}$	0.7313
10	$y = 6.1194x^{0.6697}$	0.7086
15	$y = 7.2447x^{0.6559}$	0.6953
20	$y = 8.1226x^{0.6464}$	0.6856
25	$y = 8.8543x^{0.6392}$	0.6779
30	$y = 9.4878x^{0.6334}$	0.6715
50	$y = 11.451x^{0.6174}$	0.6527
75	$y = 13.231x^{0.605}$	0.6369
100	$y = 14.628x^{0.5963}$	0.6252

Ahora para los caudales mínimos se realiza el mismo proceso y se obtienen las ecuaciones para la regionalización de los caudales mínimos, en la Tabla 24.

Tabla 24: Ecuaciones de regionalización para diferentes periodos de retorno para caudales mínimos.^q

Tr (Años)	Ecuación	R ²
2	$y = 0.0063x^{1.0172}$	0.8965
5	$y = 0.0025x^{1.08}$	0.9041
10	$y = 0.0013x^{1.1296}$	0.8883
15	$y = 0.0009x^{1.1732}$	0.9007
20	$y = 0.0006x^{1.2037}$	0.8929
25	$y = 0.0005x^{1.2319}$	0.8826
30	$y = 0.0004x^{1.2606}$	0.8675
50	$y = 0.0002x^{1.2994}$	0.8798
75	$y = 0.0003x^{1.2651}$	0.891
100	$y = 0.0002x^{1.297}$	0.8544

^p Fuente: Elaboración propia.

^q Fuente: Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este es un modelo que encontró su motivación en el apoyo a un sector económico agropecuario, que es el cultivo de arroz. No obstante este modelo podrá ser aplicado para otro tipo de actividad en la cual sea necesaria la predicción de caudales, como lo pueden ser obras civiles, planes de ordenamiento territorial, determinación de rondas hídricas, entre otros que puedan surgir.

Las variables hidrológicas, que son los datos obtenidos de las lecturas de las estaciones, que sirven para el desarrollo del modelo, en algunas ocasiones pueden presentar una diferencia muy grande frente a los otros datos, por lo cual es necesario detenerse y analizar que pudo haber sucedido en ese mes y en ese lugar para que se presentara un dato extraordinario, y dependiendo de este análisis se decidirá si se toman esos datos para el análisis estadístico y probabilístico o no.

También hay que aclarar que en casi todas las estaciones se presentan datos vacíos, es decir que no tienen nada, estos datos no pueden ser tomados como cero (0), porque no es que el caudal en ese momento y en ese punto haya sido cero (0), sino que no se tiene una lectura de él, por lo cual no existe dato, y en consecuencia no se tiene en cuenta.

Para la selección de estaciones se escogieron las estaciones limnigráficas porque estas estaciones tienen la ventaja de ser estaciones automáticas, lo que quiere decir la estación lleva un registro total de lo que sucede en el cauce. Mientras que las estaciones limnimétricas llevan su registro de manera manual, esto quiere decir que un operario del IDEAM, es el que va a la estación a recoger las observaciones de la estación. Lo que sucede con esto es que a la hora que el operario va a tomar el registro de los datos, no es necesariamente la hora donde se presenta el caudal máximo, por ejemplo si existe una creciente a las 2:00 a.m. que represente el caudal máximo del mes, en una estación limnimétrica no se registrara el dato, mientras que en una estación limnigráfica sí.

En el modelo de regionalización de caudales es importante conocer las herramientas de probabilidad y estadística y tener el entendimiento para poder seleccionar una distribución de probabilidad que presente la menor incertidumbre para la creación del modelo. Como se pudo evidenciar en la metodología, en los ajustes de distribución se encuentran diferentes métodos para llegar a hacer un ajuste de distribución por esto es realmente importante hacer una prueba de bondad con el objeto de realizar la mejor selección de distribución.

Por ultimo hay que aclarar que el modelo no 100% exacto siempre va a existir la posibilidad de que no se cumpla la predicción, solo se hace una predicción con probabilidad de ocurrencia.

8 BIBLIOGRAFIA

- Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays. Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill, Santa fe de Bogotá 1994
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
- Normas APA
- Corporación Autónoma Regional (CAR) CorMagdalena.
- Ciro Martínez. Estadística y Muestreo. Décimo segunda edición. ECOE Ediciones. Bogotá 2005

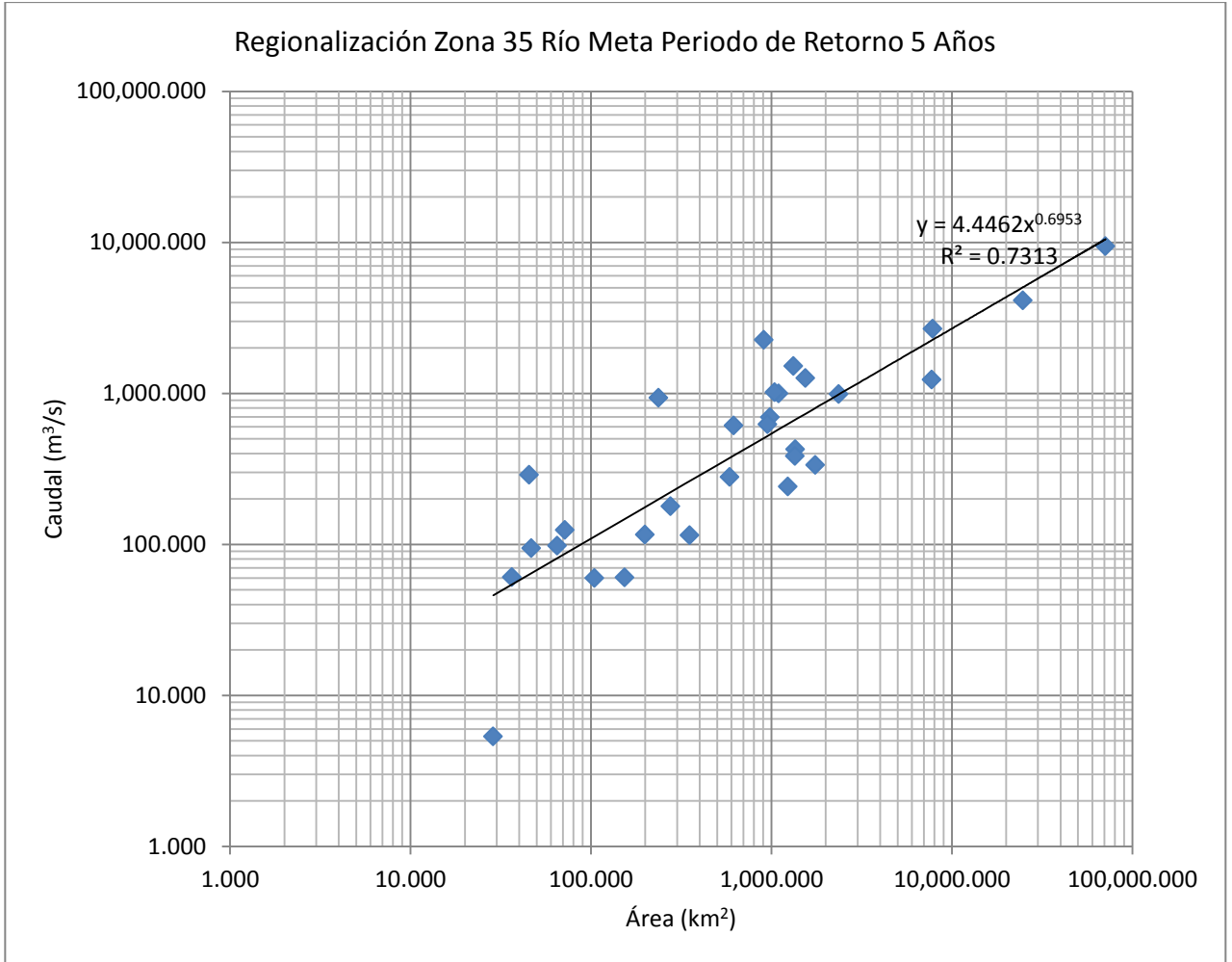
9 ANEXOS.

9.1 Regionalización de Caudales Máximos.

9.1.1 5 Años.

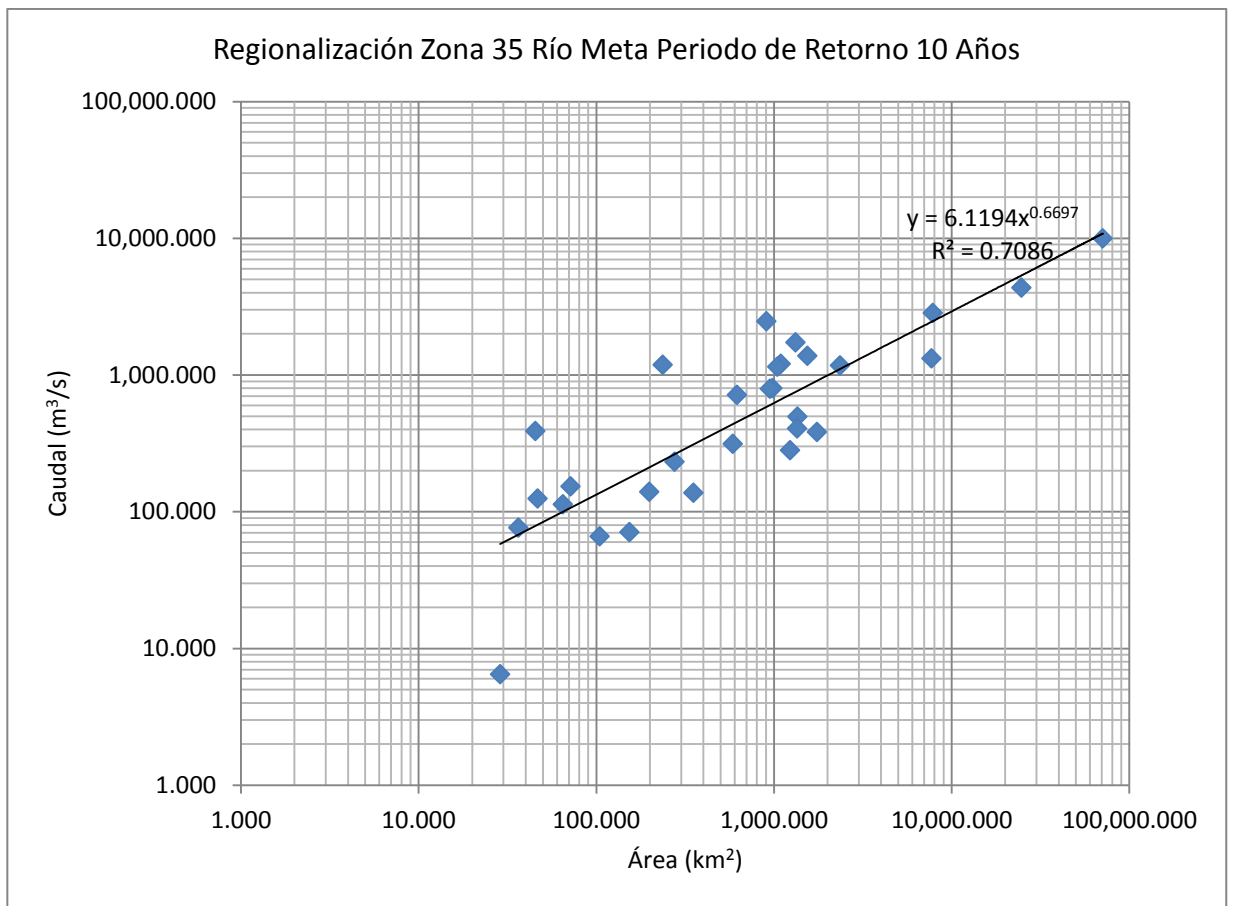
Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,230.827
CARAZA	35027100	153.581	60.397
ANIMAS LAS	35027150	104.650	59.704
GUACAPATE	35027190	1,233.516	241.043
PALMAR EL	35027200	1,353.783	426.400
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	985.408
CABLE EL	35057010	907.682	2,259.876
GLORIA LA	35067010	71.749	124.360
UBALA	35067030	65.024	97.606
BOCA LA	35067090	45.405	287.880
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	60.531
CAMOYO EL	35077050	46.702	94.165
PTE FIERRO	35077080	586.482	279.103
SAN JOSE	35077100	28.741	5.342
CARACOL EL	35077120	1,351.472	383.491
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	114.965
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,261.583
PAEZ	35087020	983.061	694.893
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	997.918
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	612.419
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	2,675.125
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,117.358
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	334.342
VADO HONDO	35197020	199.189	116.035
ESTEROS LOS	35197030	236.969	933.501
RANCHERIAS	35197050	276.496	178.361
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,014.332
PTE LA CABANA	35217030	950.452	623.241

PLAYON EL	35217060	1,324.421	1,515.561
AGUAVERDE	35267080	70,991.482	9,437.114



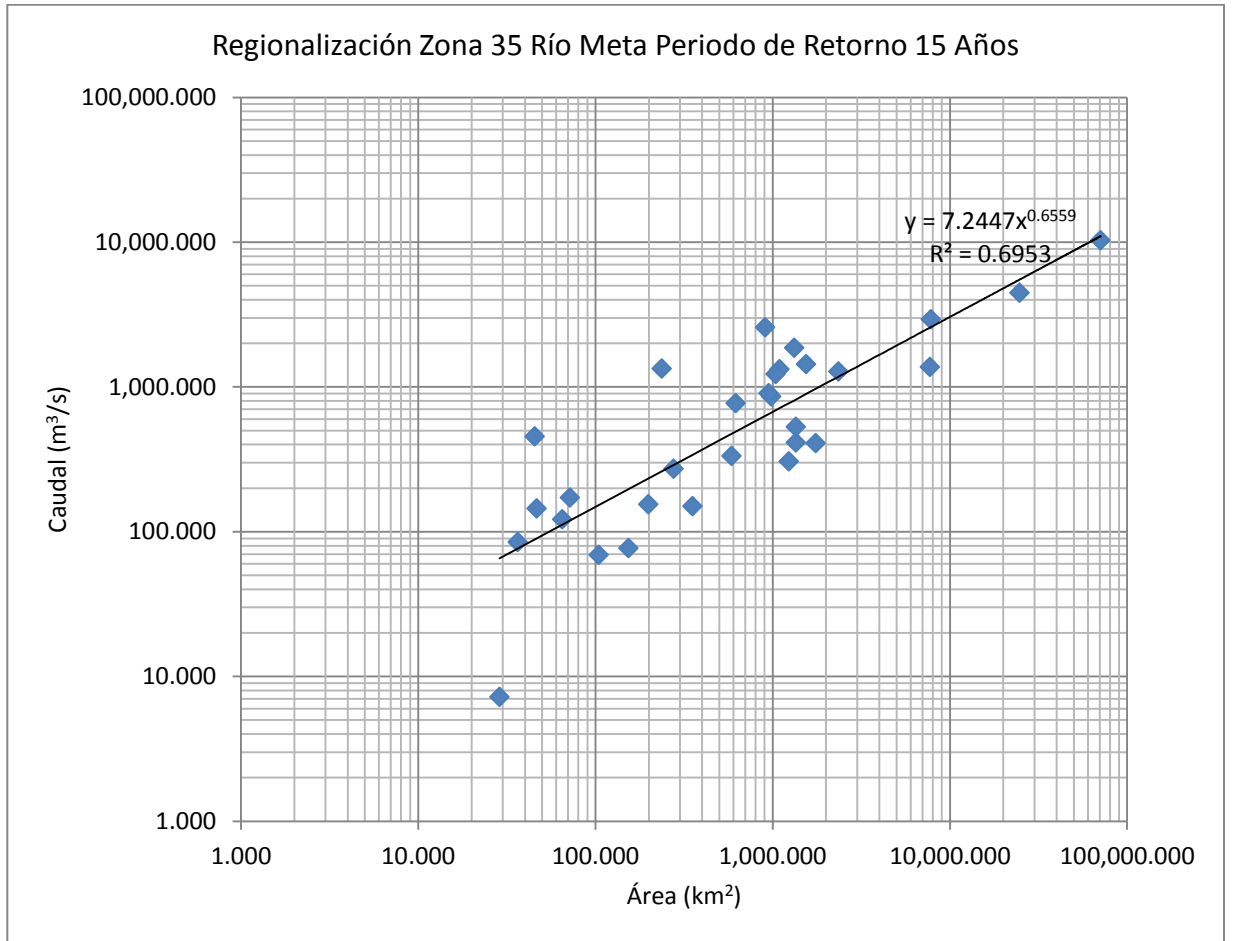
9.1.2 10 Años

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,320.629
CARAZA	35027100	153.581	70.914
ANIMAS LAS	35027150	104.650	65.995
GUACAPATE	35027190	1,233.516	281.341
PALMAR EL	35027200	1,353.783	493.807
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,172.336
CABLE EL	35057010	907.682	2,469.219
GLORIA LA	35067010	71.749	153.019
UBALA	35067030	65.024	113.178
BOCA LA	35067090	45.405	387.785
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	76.156
CAMOYO EL	35077050	46.702	124.272
PTE FIERRO	35077080	586.482	313.915
SAN JOSE	35077100	28.741	6.479
CARACOL EL	35077120	1,351.472	404.702
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	137.469
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,379.144
PAEZ	35087020	983.061	800.944
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,203.007
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	715.185
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	2,843.256
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,348.542
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	381.796
VADO HONDO	35197020	199.189	139.780
ESTEROS LOS	35197030	236.969	1,184.102
RANCHERIAS	35197050	276.496	231.330
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,150.319
PTE LA CABANA	35217030	950.452	789.582
PLAYON EL	35217060	1,324.421	1,730.810
AGUERVERDE	35267080	70,991.482	9,979.956



9.1.3 15 Años.

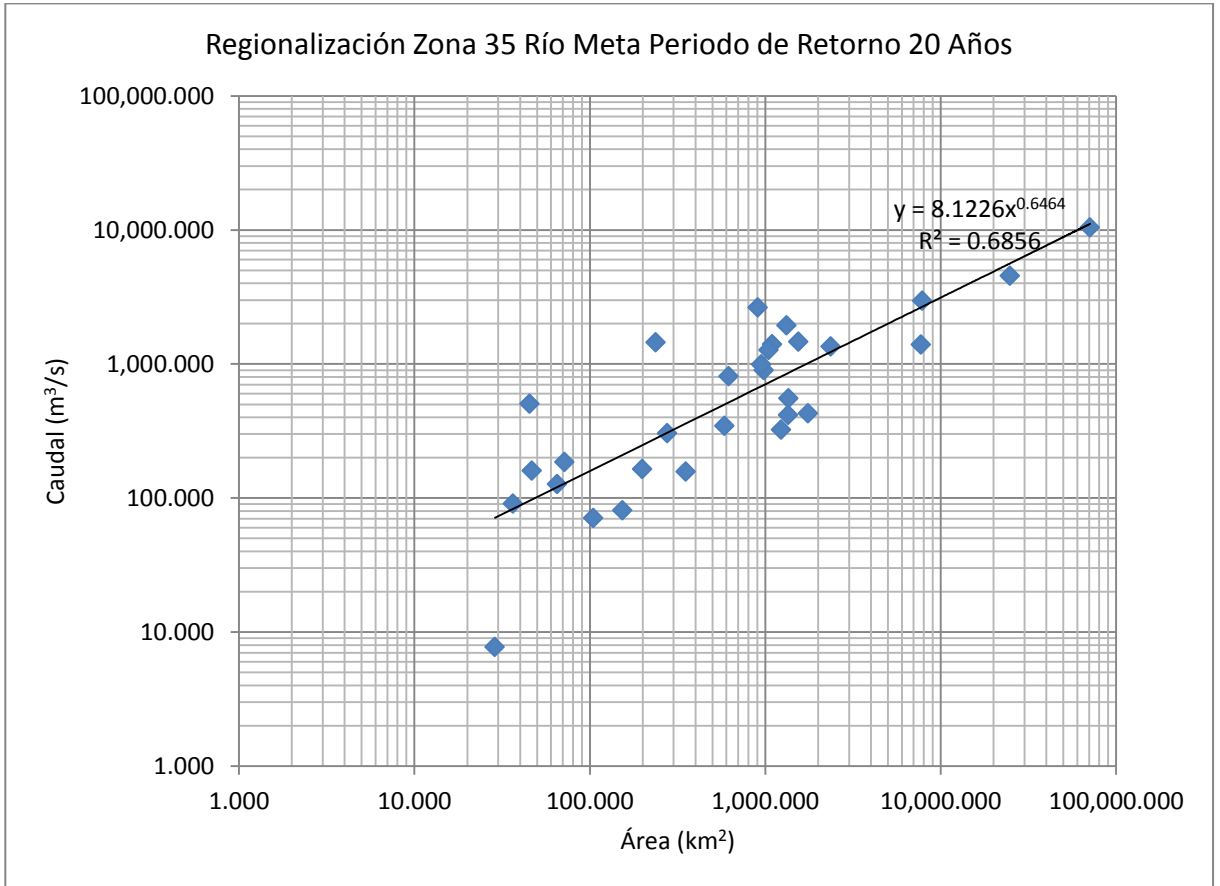
Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,367.864
CARAZA	35027100	153.581	76.900
ANIMAS LAS	35027150	104.650	69.058
GUACAPATE	35027190	1,233.516	305.787
PALMAR EL	35027200	1,353.783	529.867
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,278.487
CABLE EL	35057010	907.682	2,578.260
GLORIA LA	35067010	71.749	171.458
UBALA	35067030	65.024	121.513
BOCA LA	35067090	45.405	454.390
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	84.824
CAMOYO EL	35077050	46.702	144.688
PTE FIERRO	35077080	586.482	332.879
SAN JOSE	35077100	28.741	7.200
CARACOL EL	35077120	1,351.472	413.086
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	149.615
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,435.929
PAEZ	35087020	983.061	859.774
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,320.612
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	772.751
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	2,922.835
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,468.718
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	408.987
VADO HONDO	35197020	199.189	154.271
ESTEROS LOS	35197030	236.969	1,337.182
RANCHERIAS	35197050	276.496	271.604
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,222.132
PTE LA CABANA	35217030	950.452	903.517
PLAYON EL	35217060	1,324.421	1,857.281
AGUERVERDE	35267080	70,991.482	10,262.414



9.1.4 20 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,399.708
CARAZA	35027100	153.581	81.113
ANIMAS LAS	35027150	104.650	71.036
GUACAPATE	35027190	1,233.516	323.683
PALMAR EL	35027200	1,353.783	554.372
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,353.158
CABLE EL	35057010	907.682	2,651.338
GLORIA LA	35067010	71.749	185.455
UBALA	35067030	65.024	127.178
BOCA LA	35067090	45.405	506.076
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	90.822
CAMOYO EL	35077050	46.702	160.700
PTE FIERRO	35077080	586.482	345.914
SAN JOSE	35077100	28.741	7.744
CARACOL EL	35077120	1,351.472	417.815
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	157.892
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,472.450
PAEZ	35087020	983.061	900.622
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,403.791
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	812.882
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	2,973.491
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,549.212
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	428.207
VADO HONDO	35197020	199.189	164.919
ESTEROS LOS	35197030	236.969	1,449.730
RANCHERIAS	35197050	276.496	305.518
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,270.419
PTE LA CABANA	35217030	950.452	993.425
PLAYON EL	35217060	1,324.421	1,948.067

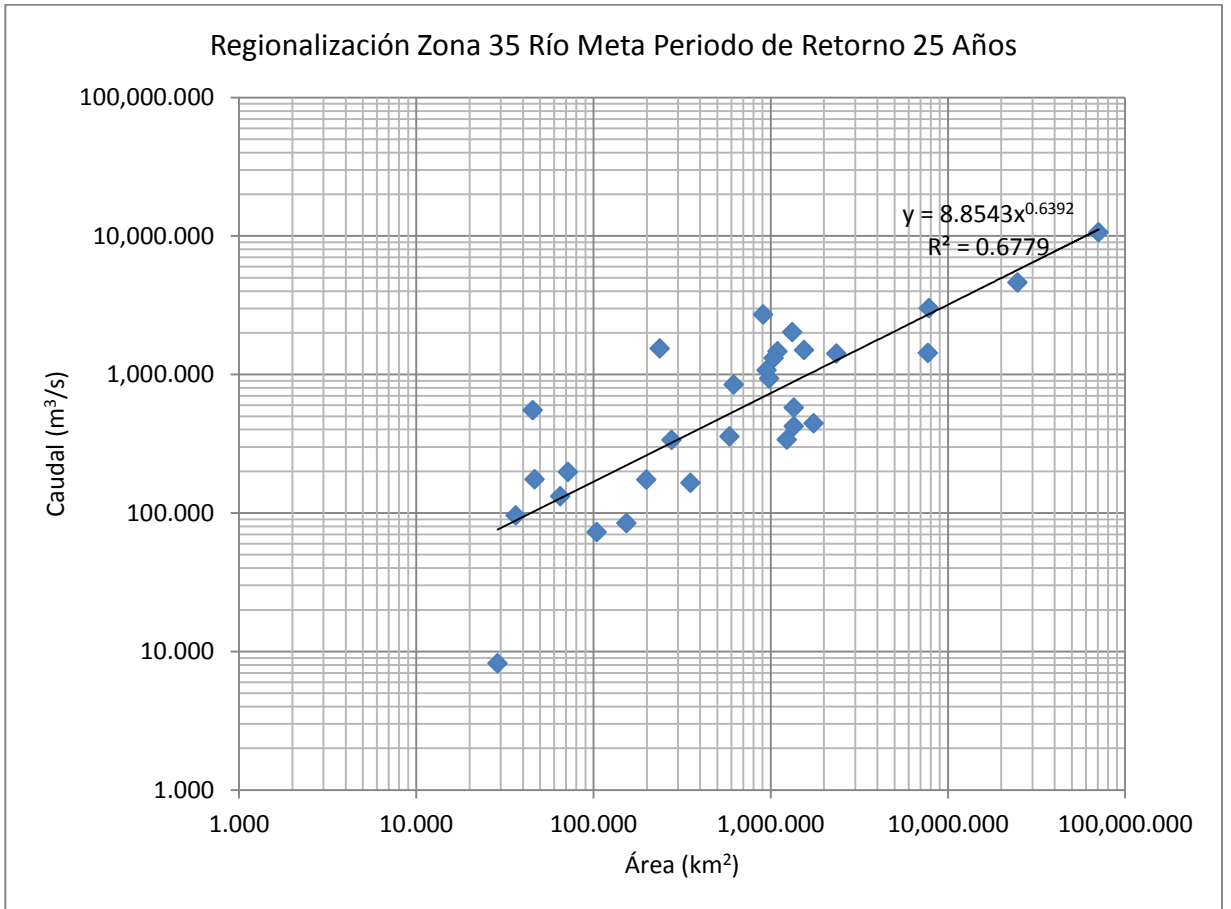
AGUVERDE	35267080	70,991.482	10,451.707
----------	----------	------------	------------



9.1.5 25 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,423.623
CARAZA	35027100	153.581	84.371
ANIMAS LAS	35027150	104.650	72.478
GUACAPATE	35027190	1,233.516	337.923
PALMAR EL	35027200	1,353.783	572.865
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,410.898
CABLE EL	35057010	907.682	2,705.984
GLORIA LA	35067010	71.749	196.892
UBALA	35067030	65.024	131.455
BOCA LA	35067090	45.405	548.993
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	95.402
CAMOYO EL	35077050	46.702	174.098
PTE FIERRO	35077080	586.482	355.835
SAN JOSE	35077100	28.741	8.185
CARACOL EL	35077120	1,351.472	420.928
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	164.142
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,499.003
PAEZ	35087020	983.061	931.926
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,468.352
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	843.694
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	3,010.072
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,609.392
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	443.115
VADO HONDO	35197020	199.189	173.415
ESTEROS LOS	35197030	236.969	1,539.566
RANCHERIAS	35197050	276.496	335.414
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,306.532
PTE LA CABANA	35217030	950.452	1,068.998

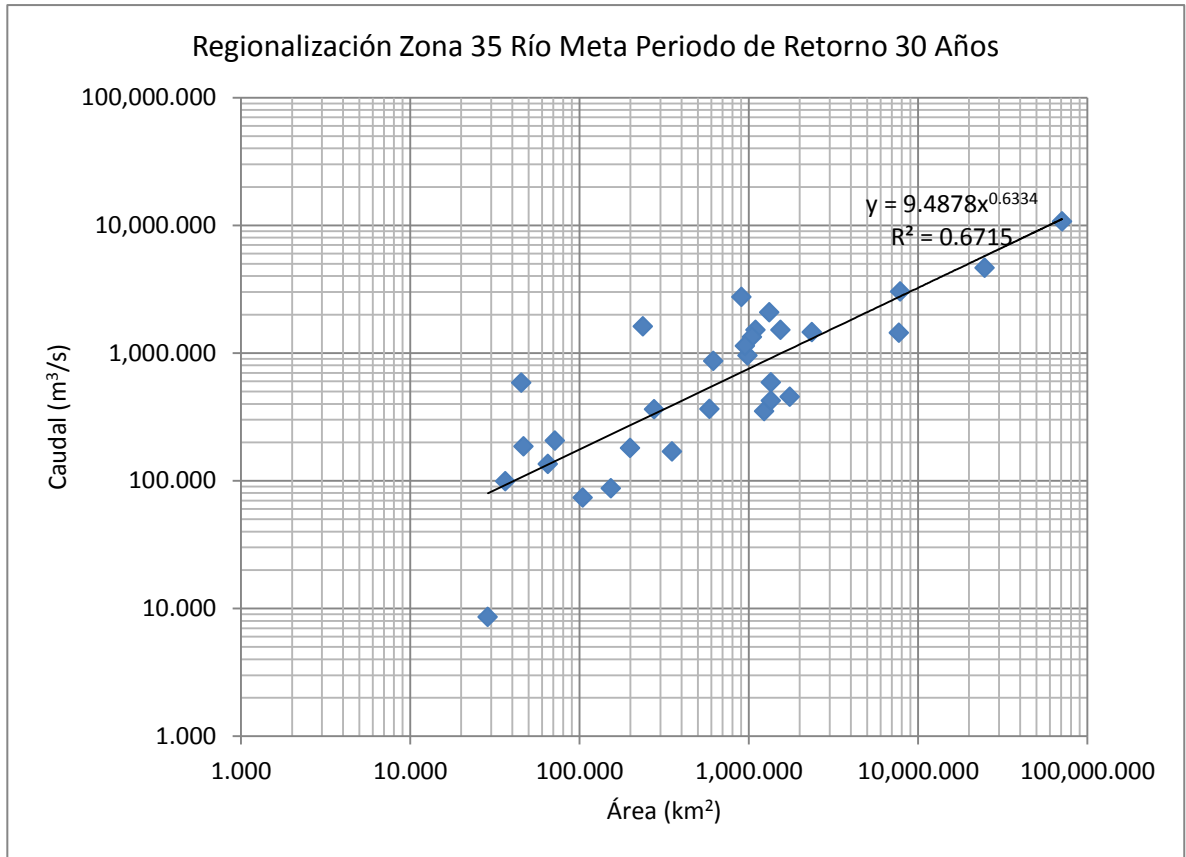
PLAYON EL	35217060	1,324.421	2,019.278
AGUAVERDE	35267080	70,991.482	10,593.279



9.1.6 30 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,442.717
CARAZA	35027100	153.581	87.029
ANIMAS LAS	35027150	104.650	73.603
GUACAPATE	35027190	1,233.516	349.809
PALMAR EL	35027200	1,353.783	587.681
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,458.032
CABLE EL	35057010	907.682	2,749.467
GLORIA LA	35067010	71.749	206.640
UBALA	35067030	65.024	134.881
BOCA LA	35067090	45.405	586.040
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	99.103
CAMOYO EL	35077050	46.702	185.734
PTE FIERRO	35077080	586.482	363.837
SAN JOSE	35077100	28.741	8.559
CARACOL EL	35077120	1,351.472	423.166
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	169.148
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,519.690
PAEZ	35087020	983.061	957.307
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,521.202
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	868.697
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	3,038.429
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,657.277
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	455.308
VADO HONDO	35197020	199.189	180.522
ESTEROS LOS	35197030	236.969	1,614.734
RANCHERIAS	35197050	276.496	362.470
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,335.235

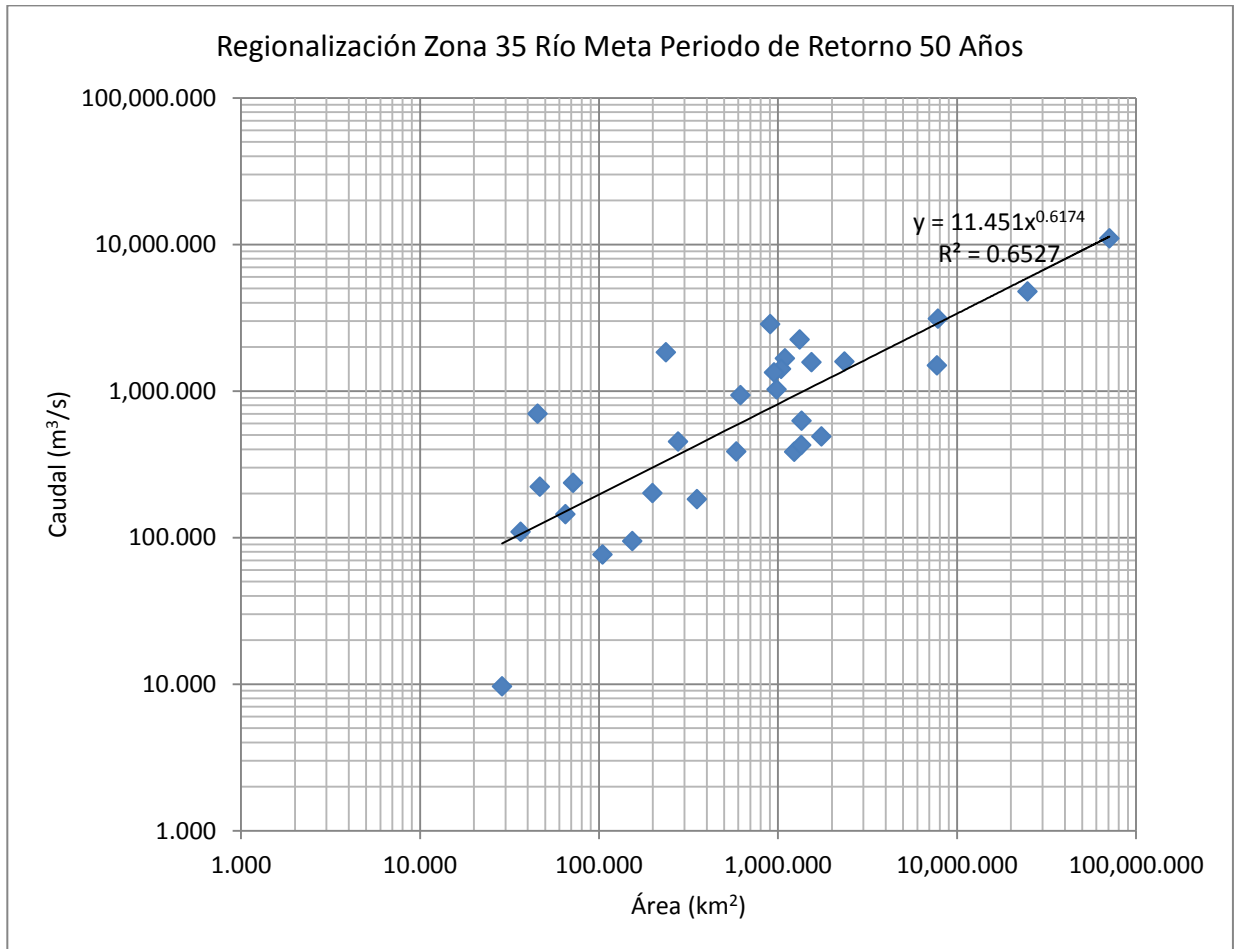
PTE LA CABANA	35217030	950.452	1,134.869
PLAYON EL	35217060	1,324.421	2,078.047
AGUAVERDE	35267080	70,991.482	10,705.960



9.1.7 50 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,494.390
CARAZA	35027100	153.581	94.475
ANIMAS LAS	35027150	104.650	76.541
GUACAPATE	35027190	1,233.516	384.412
PALMAR EL	35027200	1,353.783	627.977
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,590.240
CABLE EL	35057010	907.682	2,866.486
GLORIA LA	35067010	71.749	236.057
UBALA	35067030	65.024	144.203
BOCA LA	35067090	45.405	700.315
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	109.301
CAMOYO EL	35077050	46.702	222.008
PTE FIERRO	35077080	586.482	385.847
SAN JOSE	35077100	28.741	9.679
CARACOL EL	35077120	1,351.472	428.239
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	182.732
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,573.521
PAEZ	35087020	983.061	1,027.721
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,670.127
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	938.075
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	3,111.656
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,786.163
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	489.605
VADO HONDO	35197020	199.189	201.287
ESTEROS LOS	35197030	236.969	1,834.494
RANCHERIAS	35197050	276.496	453.090

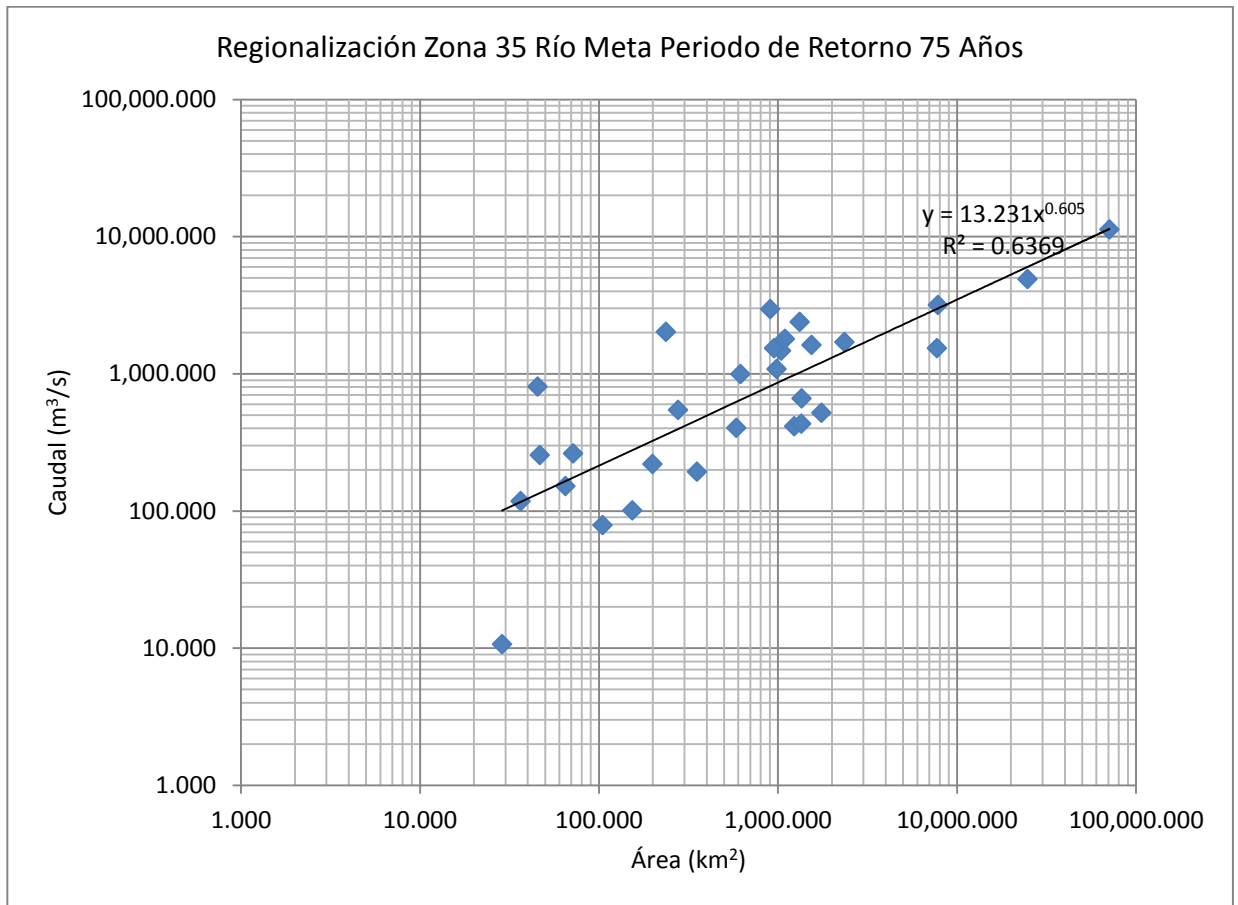
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,412.131
PTE LA CABANA	35217030	950.452	1,341.491
PLAYON EL	35217060	1,324.421	2,245.861
AGUAVERDE	35267080	70,991.482	11,009.386



9.1.8 75 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,533.800
CARAZA	35027100	153.581	100.397
ANIMAS LAS	35027150	104.650	78.682
GUACAPATE	35027190	1,233.516	413.356
PALMAR EL	35027200	1,353.783	658.879
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,695.690
CABLE EL	35057010	907.682	2,955.081
GLORIA LA	35067010	71.749	261.840
UBALA	35067030	65.024	151.353
BOCA LA	35067090	45.405	803.353
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	117.244
CAMOYO EL	35077050	46.702	255.163
PTE FIERRO	35077080	586.482	402.981
SAN JOSE	35077100	28.741	10.650
CARACOL EL	35077120	1,351.472	431.273
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	193.093
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,612.602
PAEZ	35087020	983.061	1,083.118
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,789.592
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	992.563
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	3,164.323
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,883.791
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	517.027
VADO HONDO	35197020	199.189	218.740
ESTEROS LOS	35197030	236.969	2,019.328

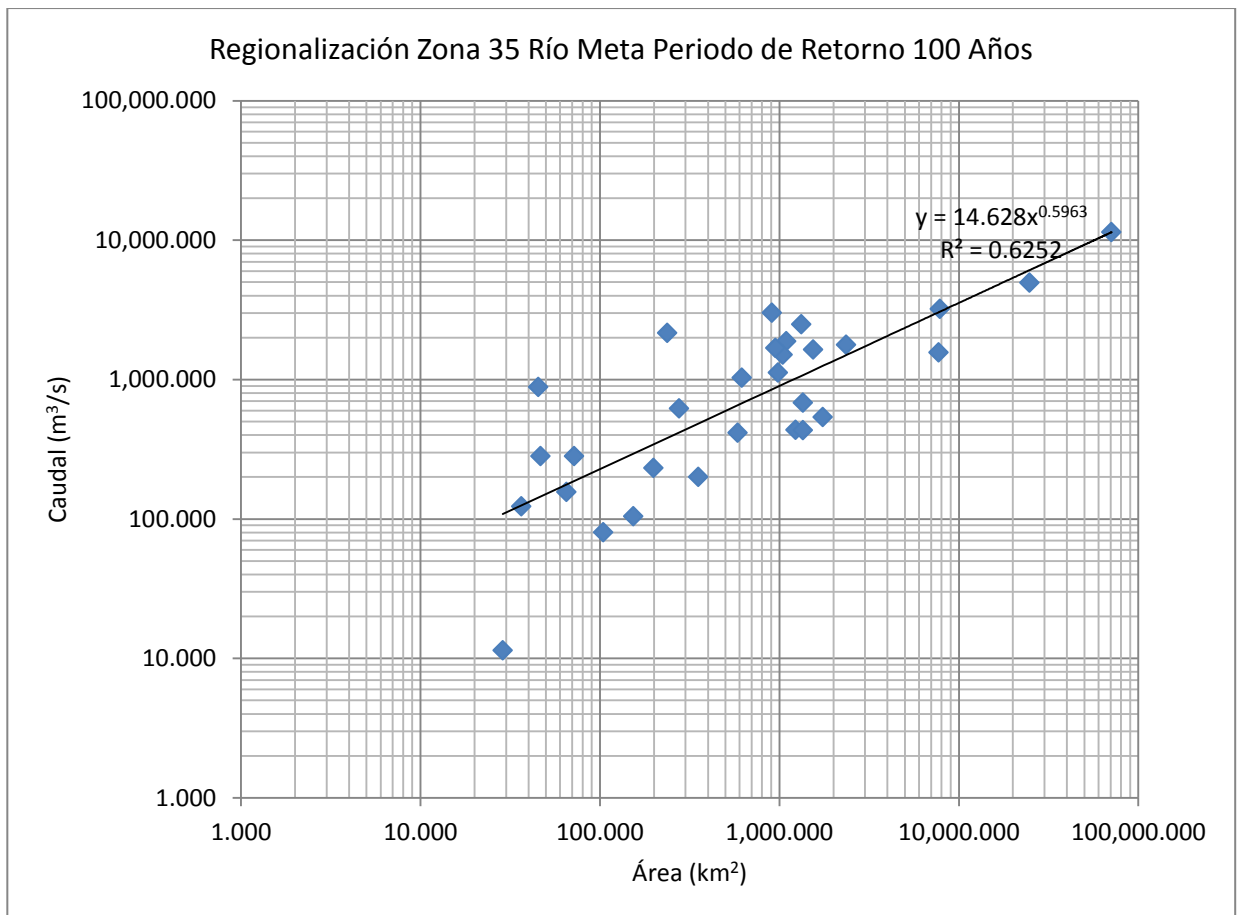
RANCHERIAS	35197050	276.496	543.872
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,469.782
PTE LA CABANA	35217030	950.452	1,531.857
PLAYON EL	35217060	1,324.421	2,382.724
AGUERVERDE	35267080	70,991.482	11,239.353



9.1.9 100 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.744	1,561.043
CARAZA	35027100	153.581	104.609
ANIMAS LAS	35027150	104.650	80.115
GUACAPATE	35027190	1,233.516	434.746
PALMAR EL	35027200	1,353.783	680.312
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.087	1,770.948
CABLE EL	35057010	907.682	3,015.990
GLORIA LA	35067010	71.749	281.577
UBALA	35067030	65.024	156.314
BOCA LA	35067090	45.405	883.931
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	122.810
CAMOYO EL	35077050	46.702	281.357
PTE FIERRO	35077080	586.482	414.998
SAN JOSE	35077100	28.741	11.387
CARACOL EL	35077120	1,351.472	433.015
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	200.236
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.832	1,638.688
PAEZ	35087020	983.061	1,122.270
REVENTONERA LA	35097090	1,094.936	1,875.201
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	1,030.964
GUAICARAMO	35107040	7,833.194	3,199.254
HUMAPO	35117010	24,752.005	4,950.949
CAMP YUCAO	35127020	1,748.441	536.614
VADO HONDO	35197020	199.189	231.685

ESTEROS LOS	35197030	236.969	2,156.494
RANCHERIAS	35197050	276.496	620.725
PTE YOPAL	35217010	1,043.583	1,509.015
PTE LA CABANA	35217030	950.452	1,683.168
PLAYON EL	35217060	1,324.421	2,481.960
AGUVERDE	35267080	70,991.482	11,397.610

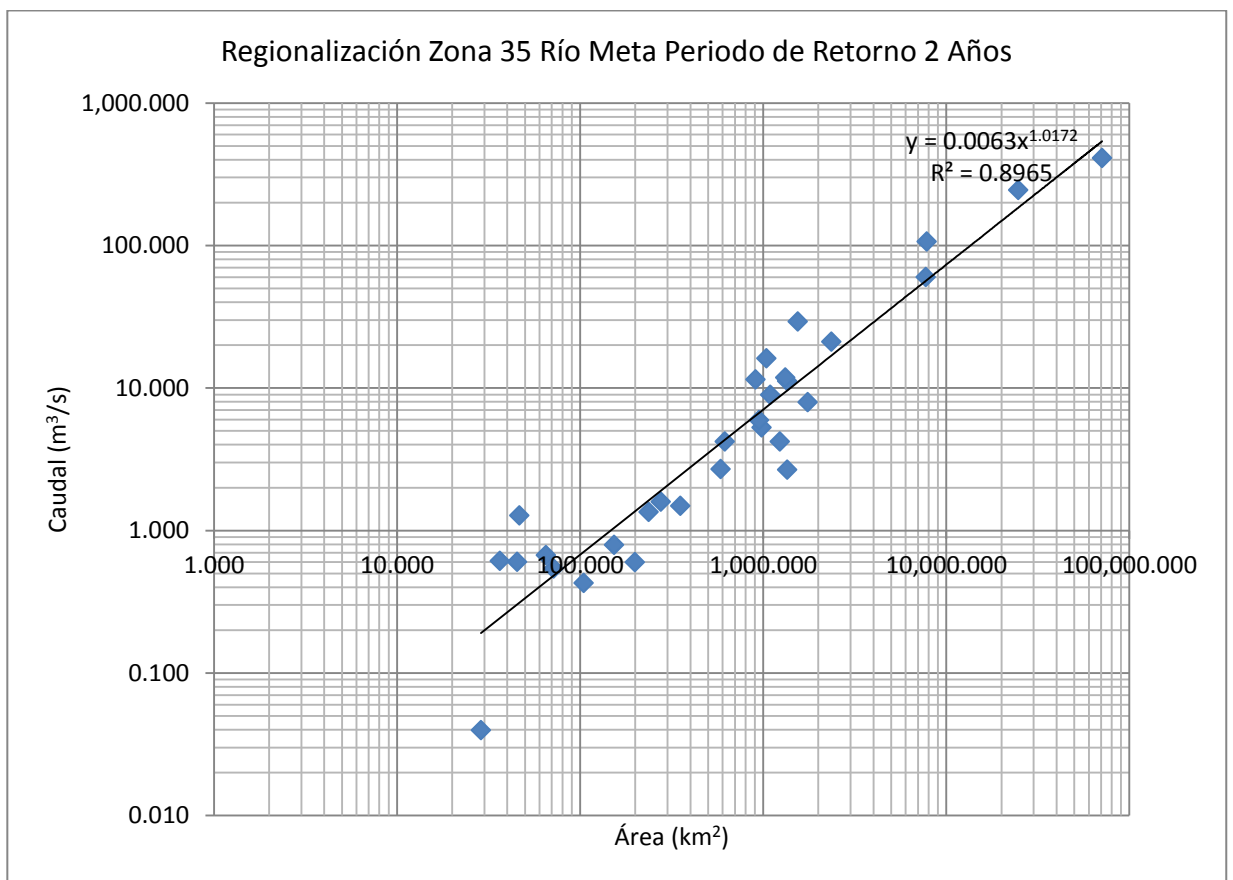


9.2 Regionalización de Caudales Mínimos.

9.2.1 2 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	60.01
CARAZA	35027100	153.581	0.79458621
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.4289415
GUACAPATE	35027190	1,233.52	4.2023
PALMAR EL	35027200	1,353.78	11.2047114
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.09	21.13
CABLE EL	35057010	907.682	11.47
GLORIA LA	35067010	71.749	0.53990809
UBALA	35067030	65.024	0.67300028
BOCA LA	35067090	45.405	0.6016524
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.61169004
CAMOYO EL	35077050	46.702	1.27815882
PTE FIERRO	35077080	586.482	2.69322525
SAN JOSE	35077100	28.741	0.03970299
CARACOL EL	35077120	1,351.47	2.66520941
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	1.49235638
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	29.29
PAEZ	35087020	983.061	5.29
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	8.97
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	4.21
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	106.52

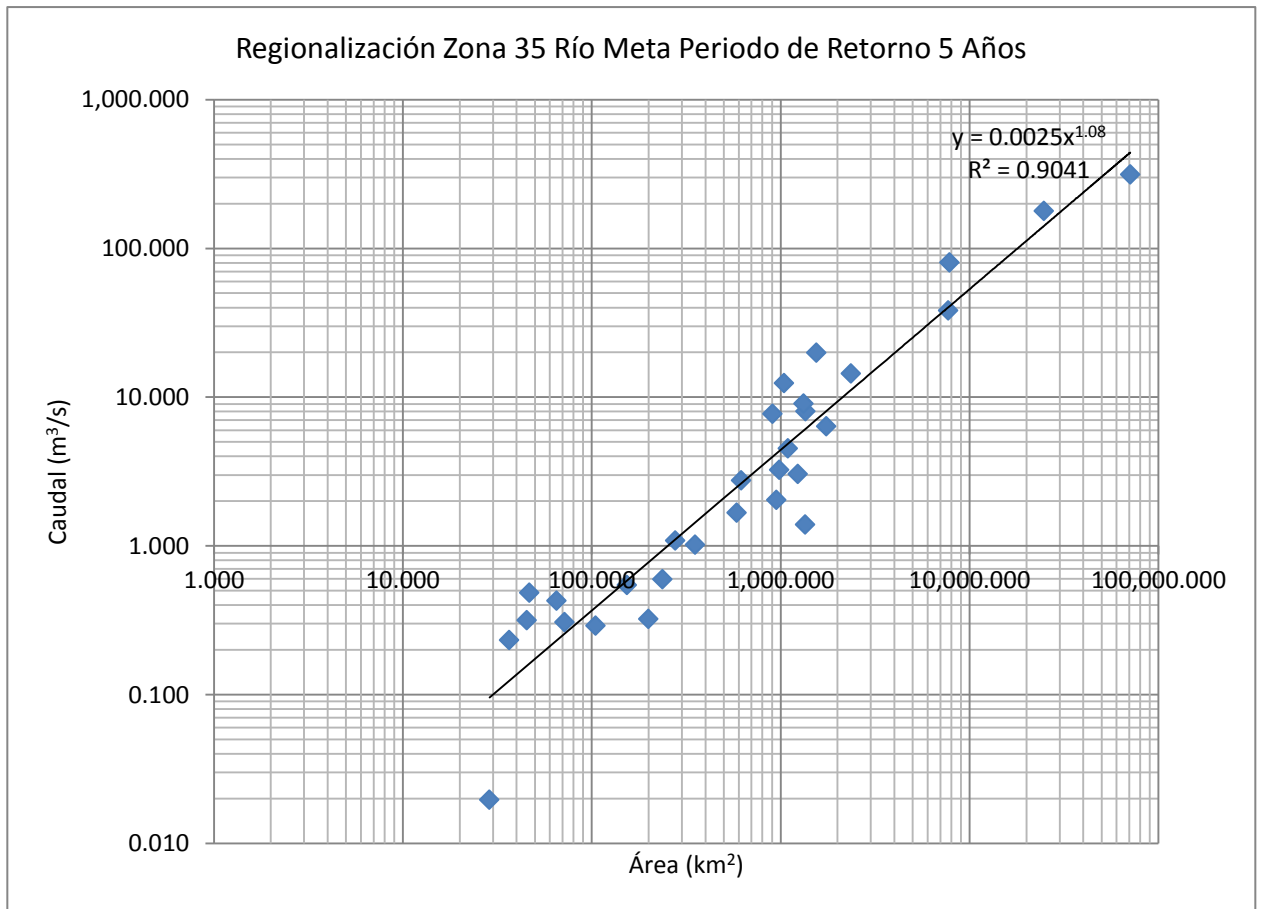
HUMAPO	35117010	24,752.01	245.31
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	7.95176667
VADO HONDO	35197020	199.189	0.59846057
ESTEROS LOS	35197030	236.969	1.35
RANCHERIAS	35197050	276.496	1.59406554
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	16.14
PTE LA CABANA	35217030	950.452	5.95
PLAYON EL	35217060	1,324.42	11.87
AGUVERDE	35267080	70,991.48	411.49



9.2.2 5 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	38.24
CARAZA	35027100	153.581	0.54656061
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.29039615
GUACAPATE	35027190	1,233.52	3.05065419
PALMAR EL	35027200	1,353.78	8.04987287
CASETEJA- DELICIAS	35027210	2,356.09	14.41
CABLE EL	35057010	907.682	7.73
GLORIA LA	35067010	71.749	0.3068525
UBALA	35067030	65.024	0.42748148
BOCA LA	35067090	45.405	0.31733326
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.23249949
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.48531273
PTE FIERRO	35077080	586.482	1.67546235
SAN JOSE	35077100	28.741	0.01963643
CARACOL EL	35077120	1,351.47	1.395074
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	1.01845678
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	19.95
PAEZ	35087020	983.061	3.25
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	4.54
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	2.75
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	80.43

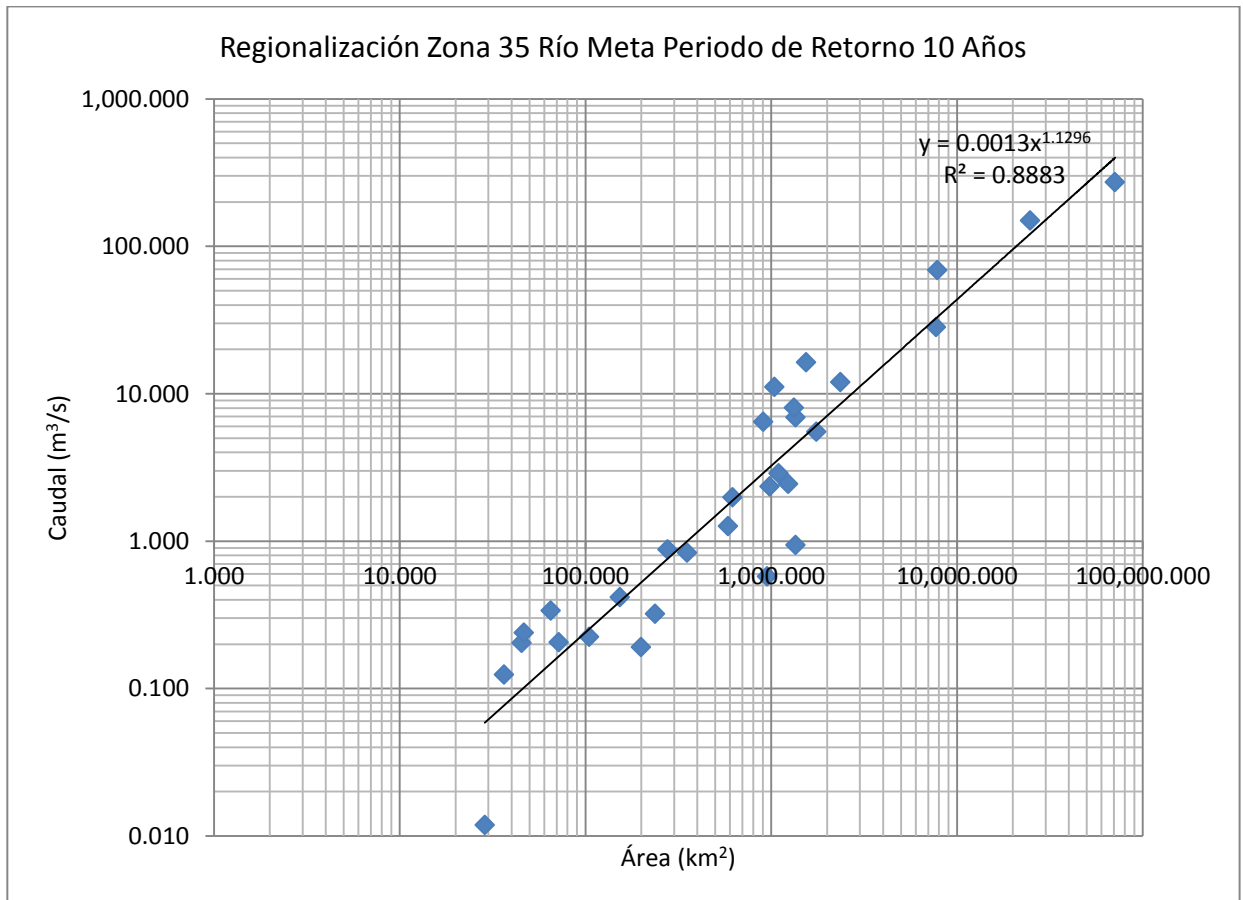
HUMAPO	35117010	24,752.01	178.86
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	6.36820544
VADO HONDO	35197020	199.189	0.32260818
ESTEROS LOS	35197030	236.969	0.60
RANCHERIAS	35197050	276.496	1.0872819
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	12.41
PTE LA CABANA	35217030	950.452	2.04
PLAYON EL	35217060	1,324.42	9.04
AGUVERDE	35267080	70,991.48	313.82



9.2.3 10 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	28.37
CARAZA	35027100	153.581	0.41691323
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.22429962
GUACAPATE	35027190	1,233.52	2.44866852
PALMAR EL	35027200	1,353.78	6.9064981
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.09	11.98
CABLE EL	35057010	907.682	6.45
GLORIA LA	35067010	71.749	0.20583332
UBALA	35067030	65.024	0.33807352
BOCA LA	35067090	45.405	0.20430027
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.12449793
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.23920468
PTE FIERRO	35077080	586.482	1.26832015
SAN JOSE	35077100	28.741	0.01184628
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.94070735
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.83700074
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	16.32
PAEZ	35087020	983.061	2.35
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	2.89
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	1.99

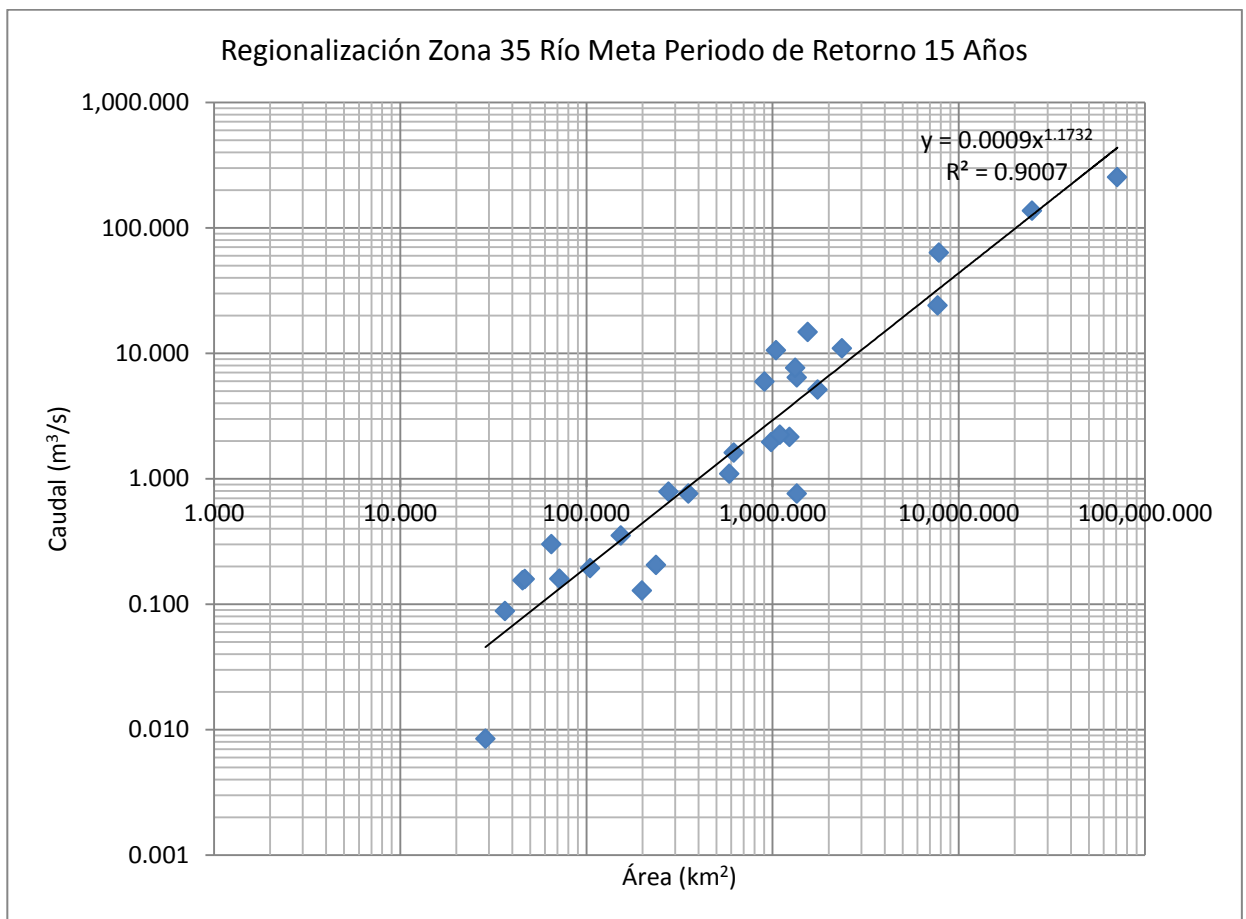
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	68.84
HUMAPO	35117010	24,752.01	149.61
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	5.54044993
VADO HONDO	35197020	199.189	0.19096783
ESTEROS LOS	35197030	236.969	0.32
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.88050816
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	11.12
PTE LA CABANA	35217030	950.452	0.58
PLAYON EL	35217060	1,324.42	8.05
AGUAVERDE	35267080	70,991.48	272.37



9.2.4 15 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	23.98
CARAZA	35027100	153.581	0.35221649
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.19388647
GUACAPATE	35027190	1,233.52	2.14826516
PALMAR EL	35027200	1,353.78	6.42309951
CASETEJA- DELICIAS	35027210	2,356.09	10.96
CABLE EL	35057010	907.682	5.92
GLORIA LA	35067010	71.749	0.15969873
UBALA	35067030	65.024	0.30019582
BOCA LA	35067090	45.405	0.15457398
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.08787863
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.15874941
PTE FIERRO	35077080	586.482	1.09415545
SAN JOSE	35077100	28.741	0.00845409
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.76001612
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.75845383
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	14.76
PAEZ	35087020	983.061	1.95
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	2.24

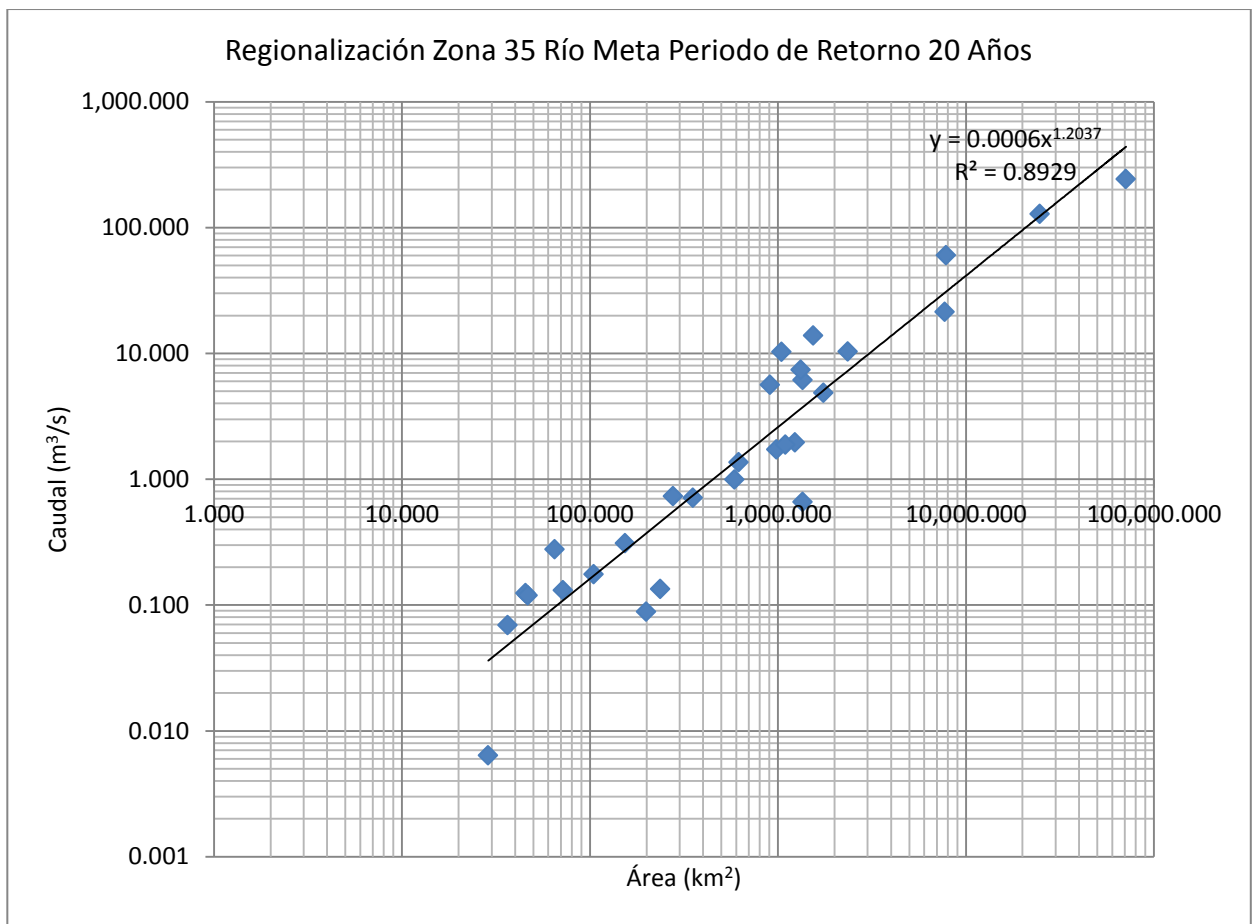
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	1.61
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	63.49
HUAPAPO	35117010	24,752.01	136.34
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	5.12738272
VADO HONDO	35197020	199.189	0.12827549
ESTEROS LOS	35197030	236.969	0.20
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.78851798
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	10.59
PTE LA CABANA	35217030	950.452	
PLAYON EL	35217060	1,324.42	7.64
AGUVERDE	35267080	70,991.48	253.78



9.2.5 20 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	21.31
CARAZA	35027100	153.581	0.30984819
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.17508129
GUACAPATE	35027190	1,233.52	1.95153836
PALMAR EL	35027200	1,353.78	6.1324602
CASETEJA- DELICIAS	35027210	2,356.09	10.34
CABLE EL	35057010	907.682	5.61
GLORIA LA	35067010	71.749	0.13085992
UBALA	35067030	65.024	0.27739869
BOCA LA	35067090	45.405	0.1240719
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.0689538
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.11879788
PTE FIERRO	35077080	586.482	0.98992236
SAN JOSE	35077100	28.741	0.00638404
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.65666255
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.71066437
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	13.82
PAEZ	35087020	983.061	1.72

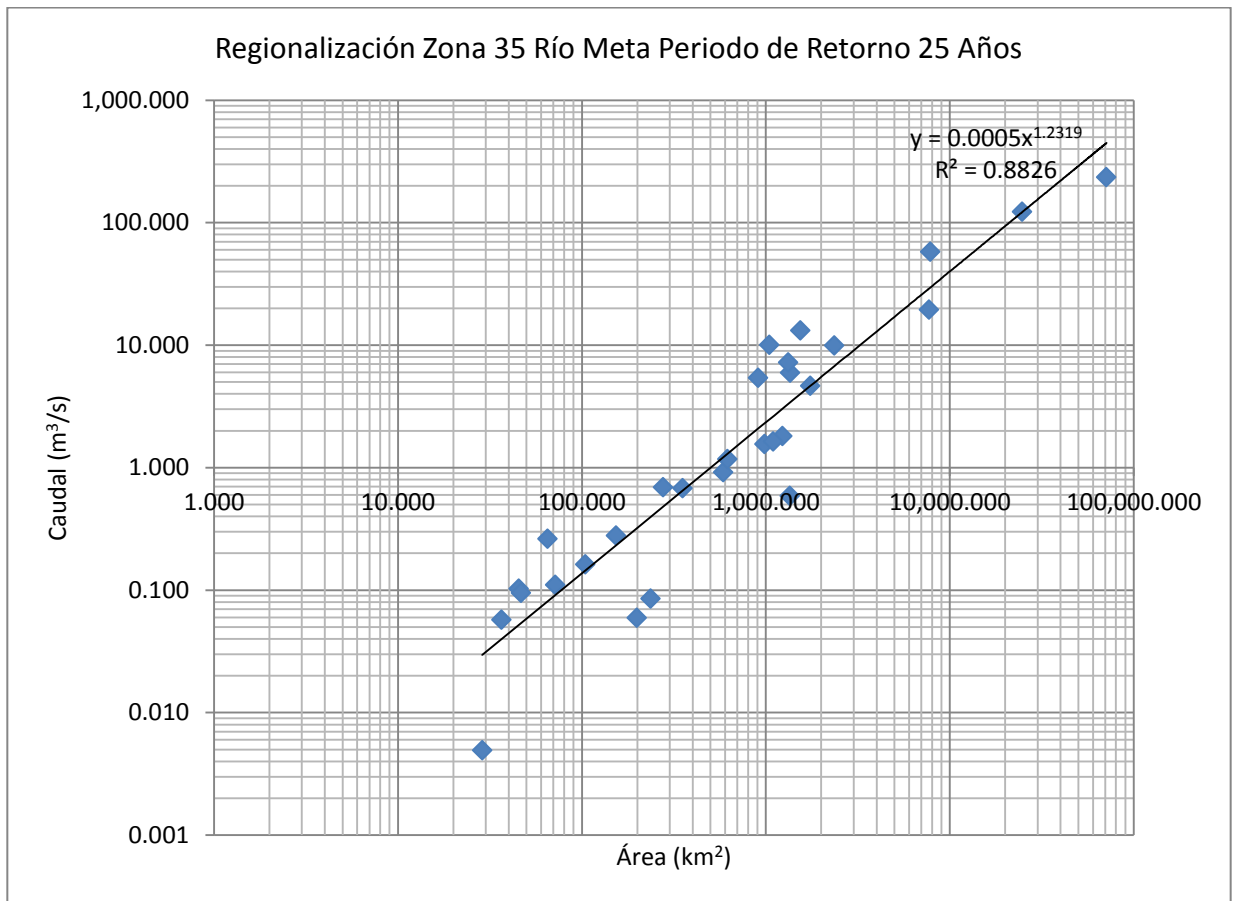
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	1.87
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	1.36
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	60.13
HUMAPO	35117010	24,752.01	128.11
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	4.85687514
VADO HONDO	35197020	199.189	0.08824472
ESTEROS LOS	35197030	236.969	0.13
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.73177128
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	10.27
PTE LA CABANA	35217030	950.452	
PLAYON EL	35217060	1,324.42	7.39
AGUVERDE	35267080	70,991.48	242.31



9.2.6 25 Años.

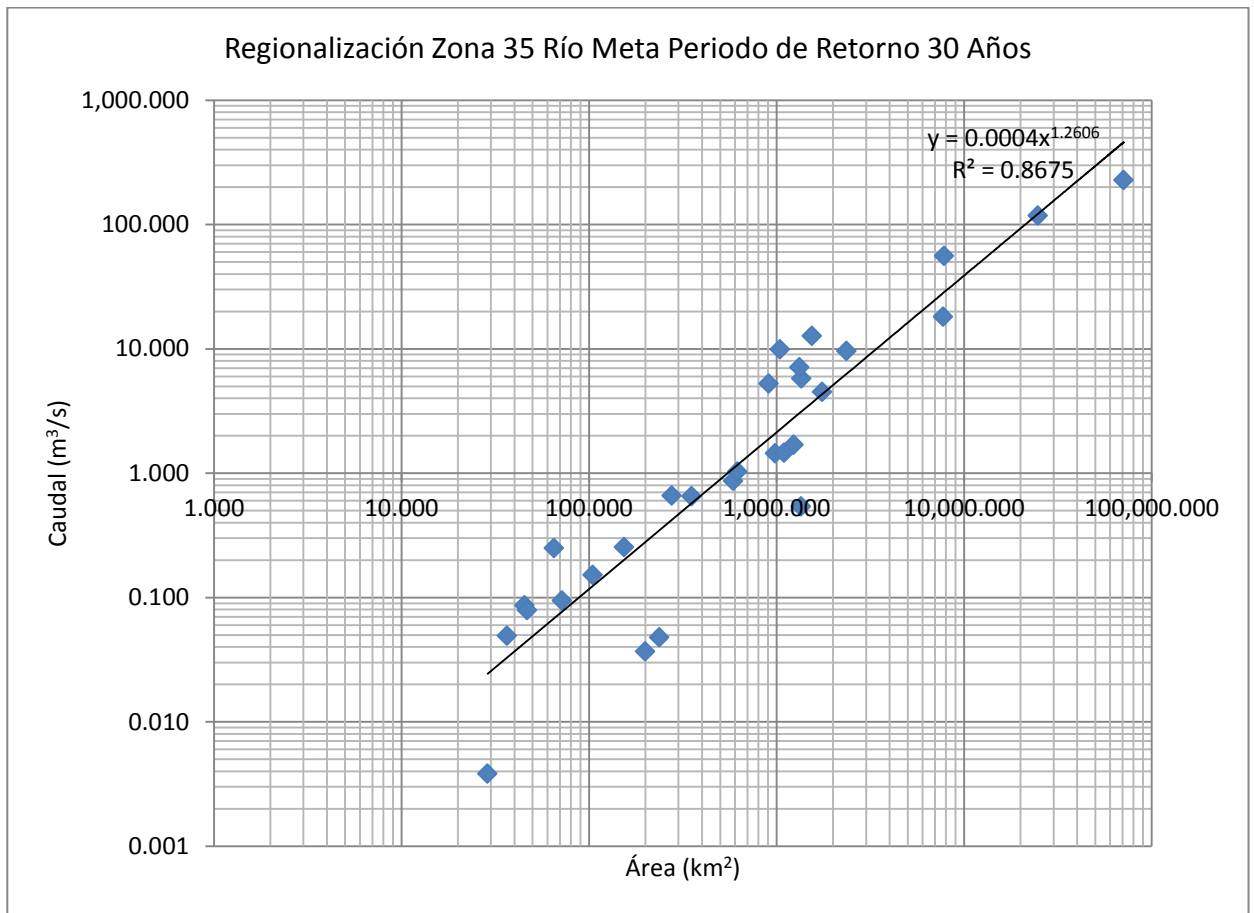
Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	19.46
CARAZA	35027100	153.581	0.27865939
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.16184942
GUACAPATE	35027190	1,233.52	1.80672085
PALMAR EL	35027200	1,353.78	5.93029236
CASETEJA- DELICIAS	35027210	2,356.09	9.91
CABLE EL	35057010	907.682	5.39
GLORIA LA	35067010	71.749	0.11028082
UBALA	35067030	65.024	0.26153034
BOCA LA	35067090	45.405	0.10257425
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.05724193
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.09491298
PTE FIERRO	35077080	586.482	0.91796327
SAN JOSE	35077100	28.741	0.00493003
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.58765566
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.67716241

SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	13.17
PAEZ	35087020	983.061	1.56
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	1.63
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	1.17
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	57.72
HUMAPO	35117010	24,752.01	122.28
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	4.657745
VADO HONDO	35197020	199.189	0.05927746
ESTEROS LOS	35197030	236.969	0.08
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.69162792
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	10.05
PTE LA CABANA	35217030	950.452	
PLAYON EL	35217060	1,324.42	7.22
AGUAVERDE	35267080	70,991.48	234.19



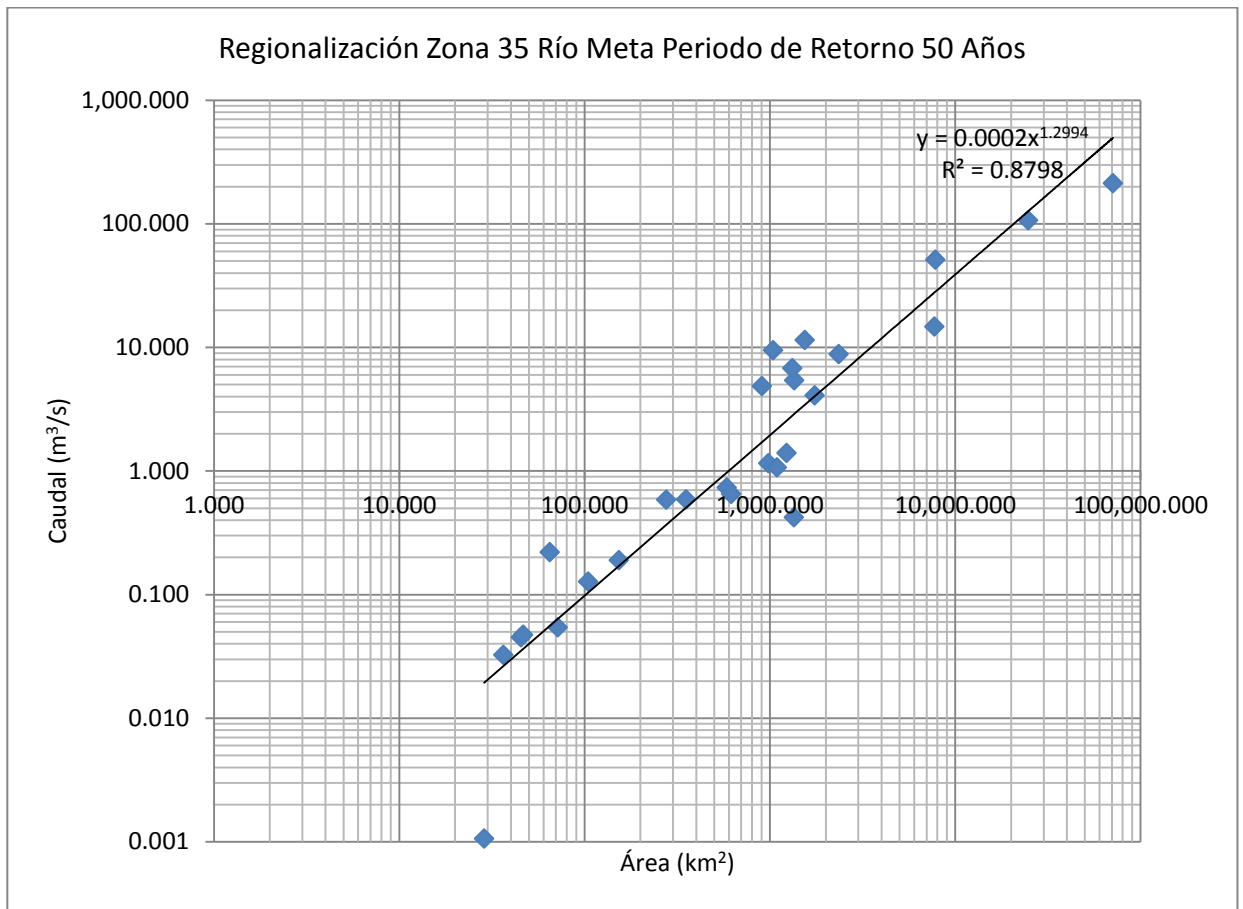
9.2.7 30 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	18.07
CARAZA	35027100	153.581	0.25413195
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.15182615
GUACAPATE	35027190	1,233.52	1.69283372
PALMAR EL	35027200	1,353.78	5.77782277
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.09	9.59
CABLE EL	35057010	907.682	5.23
GLORIA LA	35067010	71.749	0.09446675
UBALA	35067030	65.024	0.24955692
BOCA LA	35067090	45.405	0.08620419
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.04921593
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.07902502
PTE FIERRO	35077080	586.482	0.86412977
SAN JOSE	35077100	28.741	0.00382557
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.53738834
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.65175131
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	12.68
PAEZ	35087020	983.061	1.44
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	1.46
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	1.03
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	55.86
HUMAPO	35117010	24,752.01	117.83
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	4.50114543
VADO HONDO	35197020	199.189	0.03678796
ESTEROS LOS	35197030	236.969	0.05
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.66097607
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	9.88
PTE LA CABANA	35217030	950.452	
PLAYON EL	35217060	1,324.42	7.10
AGUERVERDE	35267080	70,991.48	228.00



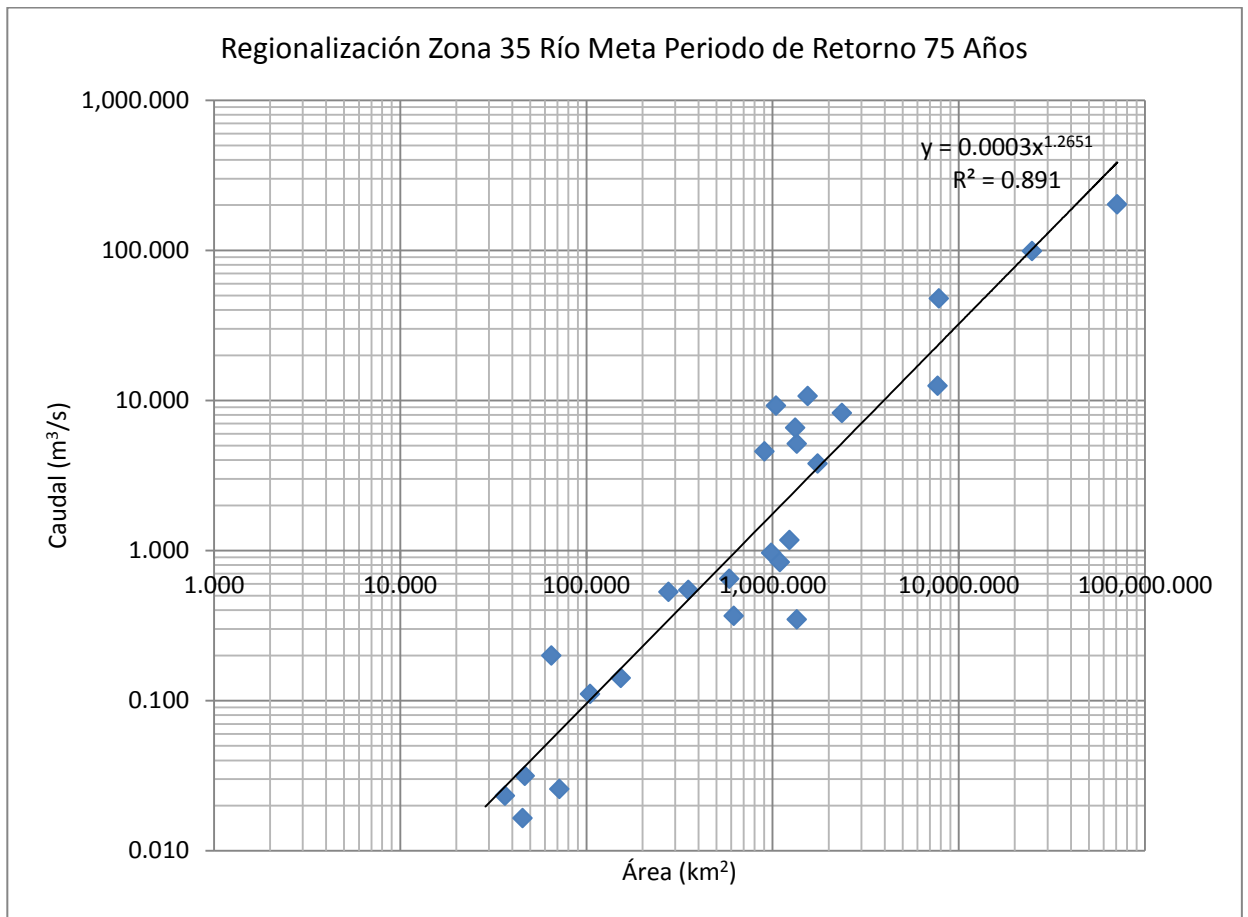
9.2.8 50 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	14.71
CARAZA	35027100	153.581	0.18934683
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.12705071
GUACAPATE	35027190	1,233.52	1.39201999
PALMAR EL	35027200	1,353.78	5.40038427
CASETEJA- DELICIAS	35027210	2,356.09	8.79
CABLE EL	35057010	907.682	4.84
GLORIA LA	35067010	71.749	0.05417679
UBALA	35067030	65.024	0.21989419
BOCA LA	35067090	45.405	0.04507717
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.03235323
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.04733277
PTE FIERRO	35077080	586.482	0.73315629
SAN JOSE	35077100	28.741	0.00106137
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.42043718
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.58829338
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	11.47
PAEZ	35087020	983.061	1.15
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	1.07
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	0.65
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	51.12
HUMAPO	35117010	24,752.01	106.64
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	4.08751395
VADO HONDO	35197020	199.189	
ESTEROS LOS	35197030	236.969	
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.58364576
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	9.47
PTE LA CABANA	35217030	950.452	
PLAYON EL	35217060	1,324.42	6.78
AGUAVERDE	35267080	70,991.48	212.42



9.2.9 75 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	12.50
CARAZA	35027100	153.581	0.14142456
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.11037461
GUACAPATE	35027190	1,233.52	1.16950472
PALMAR EL	35027200	1,353.78	5.14259691
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.09	8.25
CABLE EL	35057010	907.682	4.57
GLORIA LA	35067010	71.749	0.02567138
UBALA	35067030	65.024	0.19961586
BOCA LA	35067090	45.405	0.01647366
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.02325722
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.031528
PTE FIERRO	35077080	586.482	0.64625719
SAN JOSE	35077100	28.741	
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.34750638
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.54448373
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	10.65
PAEZ	35087020	983.061	0.96
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	0.84
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	0.37
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	47.75
HUMAPO	35117010	24,752.01	98.86
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	3.78154613
VADO HONDO	35197020	199.189	
ESTEROS LOS	35197030	236.969	
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.52958689
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	9.20
PTE LA CABANA	35217030	950.452	
PLAYON EL	35217060	1,324.42	6.57
AGUVERDE	35267080	70,991.48	201.58



9.2.10 100 Años.

Nombre	Código	Área	Caudal
PTE LLERAS AUTOMAT	35017020	7,719.74	11.15
CARAZA	35027100	153.581	0.10901198
ANIMAS LAS	35027150	104.65	0.09991239
GUACAPATE	35027190	1,233.52	1.01900486
PALMAR EL	35027200	1,353.78	4.97756393
CASETEJA-DELICIAS	35027210	2,356.09	7.90
CABLE EL	35057010	907.682	4.40
GLORIA LA	35067010	71.749	0.00697714
UBALA	35067030	65.024	0.18662559
BOCA LA	35067090	45.405	
MUNDO NUEVO	35067130	36.527	0.01842113
CAMOYO EL	35077050	46.702	0.02363585
PTE FIERRO	35077080	586.482	0.59204241
SAN JOSE	35077100	28.741	
CARACOL EL	35077120	1,351.47	0.3041228
BARBOSA TERMALES	35077140	352.903	0.51623033
SAN AGUSTIN	35087010	1,543.83	10.13
PAEZ	35087020	983.061	0.85
REVENTONERA LA	35097090	1,094.94	0.70
MOMBITA PTE ROMERA	35097100	618.703	0.18
GUAICARAMO	35107040	7,833.19	45.53
HUMAPO	35117010	24,752.01	93.84
CAMP YUCAO	35127020	1,748.44	3.57460252
VADO HONDO	35197020	199.189	
ESTEROS LOS	35197030	236.969	
RANCHERIAS	35197050	276.496	0.49442415
PTE YOPAL	35217010	1,043.58	9.02
PTE LA CABANA	35217030	950.452	
PLAYON EL	35217060	1,324.42	6.43
AGUERVERDE	35267080	70,991.48	194.57

