



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

REGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES HIDROLÓGICAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS EN COLOMBIA.

**ERNESTO J. MERLANO SABALZA
ZAID DIAZ VERGARA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D.T y C
2011**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOÍVAR
TRABAJO DE GRADO
INGENIERÍA CIVIL**

**REGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES HIDROLÓGICAS DE
PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS EN COLOMBIA.**

ERNESTO J. MELANO SABALZA

COD: T00021474

ZAID DIAZ VERGARA

COD: T00012903

Proyecto como requisito para obtener el título de
Ingeniero civil

Director

Oscar coronado

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D.T y C

2011



Cartagena de Indias D.T. y C. 2011

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

Cartagena

Cordial saludo.

Por medio de la presente estoy haciéndoles entrega del Informe Final del proyecto de grado titulado: **“REGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES HIDROLÓGICAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS EN COLOMBIA.”**, como requisito reglamentario para optar al título de ingeniería civil.

Atentamente,

ERNESTO J. MERLANO SABALZA

Código: T00021474

CC. 1.128.052.130 Cartagena

ZAID DIAZ VERGARA

Código: T00012903

CC.73.006.512 Cartagena

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOÍVAR
TRABAJO DE GRADO
INGENIERÍA CIVIL**



Modelo carta cesión de derechos patrimoniales

Cartagena de Indias, D.T.y C., 2011

Yo, ERNESTO J. MERLANO SABALZA, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **ÍREGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES HIDROLÓGICAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS 24 HORAS EN COLOMBIAÍ**, producto de mi actividad académica para optar el título de INGENIERÍA CIVIL de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En consecuencia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

ERNESTO J. MERLANO SABALZA

CC. 1.128.052.130 Cartagena

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOÍVAR
TRABAJO DE GRADO
INGENIERÍA CIVIL**

Modelo carta cesión de derechos patrimoniales

Cartagena de Indias, D.T.y C., 2011

Yo, **ZAID DIAZ VERGARA**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **REGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES HIDROLÓGICAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS EN COLOMBIA**, producto de mi actividad académica para optar el título de **INGENIERÍA CIVIL** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En consecuencia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

ZAID DIAZ VERGARA

CC. 73.006.512 Cartagena.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOÍVAR
TRABAJO DE GRADO
INGENIERÍA CIVIL**



PDF Complete

*Your complimentary use period has ended.
Thank you for using PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T. y C. 2011



AGRADECIMIENTOS

A Dios creador del universo y dueño de mi vida que me ha permitido llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr otra meta más en mi carrera. A mi Familia y novia, por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera. Al Ingeniero Oscar Coronado por su asesoría y dirección en el trabajo de investigación; y por ultimo alguien muy especial en mi vida, mi abuelita que me está acompañando desde el cielo y sé que está disfrutando de este nuevo triunfo de su querido nieto.

ZAID DIAZ VERGARA

Agradezco a Dios cada una de las metas que me ha permitido culminar con éxito, a mis padres por el apoyo para poder tener éxito fuerza en cada una de las actividades de mi vida entre estas la universidad y por ultimo con igual de importancia al ingeniero óscar coronado por cada una de sus asesorías y sus direccionamiento para así poder en este proceso de investigación terminar con responsabilidad y con los resultados deseados.

ERNESTO MERLANO SABALZA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. DELIMITACIÓN DEL TEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.....	18
3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION.....	19
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
4. MARCO REFERENCIAL	20
4.1. ANTECEDENTES	20
4.2. MARCO TEÓRICO.....	21
4.3. Funciones de Distribuciones de probabilidad	21
4.3.1.1 Distribución normal:.....	22
4.3.1.2 Distribución log-normal:	24
4.3.1.3 Distribución Pearson III:.....	26
4.3.1.4 Distribución Gumbel:.....	27
4.4. ANÁLISIS GRÁFICO.....	28
4.5. MAPA DE ISOYETAS	35
4.6. ESTADO ACTUAL	37
4.6.3. Hydrological Frequency Analysis(HYFRAN).....	39
4.7. IDEAM.....	41
4.7.1. Objetivos Misionales del IDEAM.....	41
4.7.2. Funciones:	42
4.8. N de confiabilidad.....	43
5. METODOLOGIA.....	47
5.1. TIPO DE ESTUDIO	47
5.2. FUENTES Y TECNICAS PARA LA RECOLECCION DE LA INFORMACION.....	47
5.2.1. Fuente primaria	47
5.2.2. Fuentes secundarias	58
5.2.3. Tratamiento de la información.....	58
6. CASO DE ESTUDIO	60
6.1. OROGRAFIA DE COLOMBIA	60
6.2. CLIMATOLOGÍA Y PRECIPITACIONES EN COLOMBIANA	60
6.2.1. TIPOS DE CLIMA	62
6.2.1.1 SELVA TROPICAL HÚMEDA Y LLUVIOSA	62
6.2.1.2 CLIMA TROPICAL DE SABANA, SEMI-HUMEDO	63
6.2.1.3 CLIMA TROPICAL DE ESTEPA	63
6.2.1.4 CLIMA TROPICAL DE DESIERTO	64
7. REGIONALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES.....	65

7.1. Estaciones de precipitación utilizadas	72
7.2. Confiabilidad del número de estaciones seleccionadas	73
7.3. Estimación de parámetros de distribución de probabilidad	74
7.4. Selección de la distribución de probabilidad.....	74
7.4.1. Test Chi-cuadrado	74
7.5. Implementación de SIG, aplicando la prueba de Chi-Cuadrado.....	76
7.5.1 Selección de la distribución de probabilidad	86
7.6 Implementación de SIG, aplicando valores diferentes de tiempo de retorno.....	86
7.6.1 Análisis gráfico de los parámetros K, U, Alpha de la Distribución Gev Momento ponderado	94
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
9. BIBLIOGRAFIA.....	100

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Función de densidad de probabilidad normal.....	23
Figura 2. Función de densidad de probabilidad Log-normal	25
Figura 3. Análisis Grafico la función Normal.....	28
Figura 4. Análisis Grafico la función Log-Normal	29
Figura 5. Análisis Grafico la función Pearson III.....	29
Figura 6. Distribución Método del momento	31
Figura 7. Mapa de Isoyetas.....	36
Figura 8. Determinación del tamaño de la muestra en el caso de poblaciones finitas.....	46
Figura 9. Nivel de confianza y valores α	46
Figura 10. Estaciones utilizadas	66
Figura 11. Estaciones utilizadas en región Caribe	67
Figura 12. Estaciones utilizadas en región Pacífica.....	68
Figura 13. Estaciones utilizadas en región Andina	69
Figura 14. Estaciones utilizadas en región Orinoquia.....	70
Figura 15. Estaciones utilizadas en región Amazónica.....	71
Figura 16. Porcentaje de estaciones por región.....	72
Figura 17. Estaciones Con La Distribución Gev Máxima Verosimilitud, aplicando los valores del Chi-cuadrado.....	78
Figura 18. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando los valores del Chi- cuadrado.....	79
Figura 19. Estaciones Con La Distribución Gumbel Máxima verosimilitud, aplicando los valores del Chi- cuadrado.....	80
Figura 20. Estaciones Con La Distribución Gumbel Momento Ponderado, aplicando los valores del Chi- cuadrado.....	81
Figura 21. Estaciones Con La Distribución Log- Pearson Método SAM, aplicando los valores del Chi- cuadrado.....	82
Figura 22. Estaciones Con La Distribución Normal Máxima Verosimilitud, aplicando los valores del Chi- cuadrado.....	83
Figura 23. Estaciones Con La Distribución Pearson III Máxima Verosimilitud, aplicando los valores del Chi- cuadrado.....	84
Figura 24. Estaciones Con La Distribución Pearson III Método Momentos, aplicando los valores del Chi- cuadrado.....	85
Figura 25. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 5	88
Figura 26. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 10	89
Figura 27. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 25	90
Figura 28. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 50	91
Figura 29. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 100	92
Figura 30. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 500.....	93
Figura 31. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando parámetro K	95



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Figura 32. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando parámetro U.....96

Figura 33. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando parámetro ALPHA
.....97



PDF Complete
Your complimentary use period has ended.
Thank you for using PDF Complete.
[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

LISTA DE FORMULAS

	Pág.
Ecuación 1. Función de densidad de probabilidad Normal	22
Ecuación 2. Función de densidad de probabilidad Log-Normal.....	24
Ecuación 3. Función de densidad de probabilidad Pearson III.....	26
Ecuación 4. Función de densidad de probabilidad Gumbel.	27
Ecuación 5. N de confiabilidad.....	45



Your complimentary use period has ended.
Thank you for using PDF Complete.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Nivel de confianza y valores χ^2 42

Cuadro 2. Estaciones recopiladas45

Cuadro 3. Tabla del Número de Estaciones Por Región64

Cuadro 4. Tabla de Aplicación de la Prueba Chi Cuadrado (X^2)68

INTRODUCCIÓN

En la actualidad de Colombia las precipitaciones asociadas a grandes eventos de lluvias (tormentas) son la causa de las inundaciones que ocurren en poblaciones, vías, entre otros y que logran ocasionar grandes pérdidas humanas y materiales.

Por tal motivo en esta investigación, se desea contribuir con los análisis para calcular las precipitaciones máximas asociadas a diferentes períodos de retorno en las diferentes regiones de Colombia, y de esta manera contribuir con el desarrollo del país.

El estudio de las precipitaciones máximas es necesario en múltiples aplicaciones. Así en hidrología para la estimación de inundaciones es necesario conocer el valor de la máxima precipitación registrada para un determinado período de retorno. El "período de retorno o de recurrencia" (T) es el intervalo medio expresado en años en el que un valor extremo alcanza o supera al valor "x", al menos una sola vez.

Tanto para el estudio de la erosión, como para el cálculo y diseño de las estructuras de conservación de suelos e hidráulicas, es necesario el estudio de las precipitaciones máximas. El período de retorno será mayor cuanto mayor sea la importancia y la repercusión social, ecológica y económica de la obra. Así la necesidad de disponer de amplios períodos de retorno contrasta con la disponibilidad de series de datos climatológicos, por lo que se debe recurrir a estimaciones estadísticas.

Para lo anterior se analizarán diferentes funciones de distribución de probabilidad utilizadas comúnmente en hidrología (normal, log-normal, Gumbel o de valores extremos, log-Gumbel, log-pearson tipo III, pearson tipo III), y se seleccionará la



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

distribución que mejor represente la tendencia de los datos por cada región de Colombia.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ingeniería civil es una rama que se encarga de la construcción de infraestructura. En este caso nos enfocaremos en la parte hidráulica e hidrológica ya que se ocupa de la proyección y ejecución de obras relacionadas con el manejo agua.

En Colombia los estudios hidrológicos comúnmente se realizan de manera local o puntual, y por lo tanto caen en la incertidumbre de cuál es la distribución hidrológica que aplica para una región determinada. Esto se da por falta de tiempo y/o presupuesto al momento de realizar un estudio hidrológico.

En esta investigación se determinará, sobre las estaciones de lluvias con registros de precipitaciones máximas en 24 horas distribuidas en Colombia, la distribución de probabilidad que mejor se adapte a las condiciones hidrológicas de las regiones del país, analizando funciones como: Normal, Log-Pearson Tipo III, Pearson Tipo III, Gumbel, GEV, entre otras.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se fijaran precipitaciones para cada región y se determinararan mediante las estaciones localizadas, para establecer unos parámetros acordes en un tiempo de retorno esperado, para cada una de las regiones de Colombia debido a la diversidad geográfica y climatológica del país. ¿De qué manera se puede parametrizar o fijar una cantidad de precipitaciones en cada región de Colombia?

1.3. DELIMITACIÓN DEL TEMA

El desarrollo de este trabajo será en la Universidad Tecnológica de Bolívar a partir de los datos de precipitación suministrados por el IDEAM (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia) y las Corporaciones Autónomas Regionales, de las estaciones con registros de precipitación que se recopilen.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION

En los estudios hidrológicos que se realizan en Colombia se efectúan la evaluación de la precipitación máxima con aquella metodología que se considere más conveniente en el contexto de un proyecto de obras hidráulica específico. Este estudio refleja un análisis preliminar para lluvias máximas en 24 horas utilizando la información suministrada por el IDEAM, mediante el empleo de las distribuciones de probabilidad.

El conocimiento de la climatología de una región determinada depende del nivel de instrumentación hidrometeorológica que se encuentre en la misma. Todo el tiempo en Colombia la red hidrometeorológica se ha venido desarrollando mas como una exigencia de los proyectos que requieren de este tipo de mediciones, que como una manifestación expresa por conocer como es el comportamiento hidroclimatológico del país en sus diferentes regiones.

Es así, debido a que en el país no cuenta con una parametrización estándar de las distribuciones hidrológicas, esta investigación contribuirá para que los hidrólogos conozcan de antemano la distribución de probabilidad que debe aplicarse a cada región del país. De esta manera podrán minimizar costos y tiempos en el proyecto a realizar mediante los parámetros establecidos.

3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la regionalización de distribuciones hidrológicas de precipitaciones máximas en 24 horas en Colombia.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar las precipitaciones máximas asociadas a diferentes períodos de retorno en estaciones de lluvias localizadas en Colombia.

Estimar líneas isomáximas para diferentes períodos de retorno en las regiones de Colombia, a través de mapas que regionalicen el país, con el objetivo de estandarizar cierta información de lluvias en el país.

Aplicar técnicas estadísticas para asegurar la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a la tendencia de los datos de la región.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES

La estandarización de precipitaciones que se pretende realizar con precisión en este proyecto y por tal motivo investigamos en otros países el cual nos arrojó estos resultados y en Ecuador se realizó un trabajo parecido donde se enmarcaron estos objetivos y se usaron estos métodos para la regionalización de precipitaciones con el motivo de trabajos futuros. Como la gran diversidad de las regiones climáticas existentes nos permite establecer fórmulas válidas para todo el territorio, se debió proceder a una zonificación y a la división del país en zonas pluviométricas homogéneas. Estas, cuya cantidad se buscó limitar al máximo, son seis. Tal zonificación; Al igual que las relaciones que unen a las diversas variables pluviométricas entre sí, se fundamentó en los resultados del análisis estadístico de los datos, para el cual se utilizaron los tipos de correlaciones simples o múltiples o las leyes de ajuste más comunes en hidroclimatología: Gauss (normal), Galton (gaussologarítmica), Gumbel (doble exponencial), Fréchet (gumbel-logarítmica), Pearson III (gamma incompleta) y Goodrich (caso particular de la ley exponencial generalizada)¹.

¹NOUVELOT, j. GOULVEN, p. ALEMAN, m. POURRUT, p. Análisis estadístico y regionalización de precipitaciones en Ecuador. Disponible en internet: < http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014828.pdf>.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.3. Funciones de Distribuciones de probabilidad

Una vez asignados periodos de retornos al gasto de diseño de la obra en cuestión, es necesario, para dicho gasto de diseño hacer extrapolaciones a partir de los gastos anuales registrados, pues rara vez este periodo es menor al periodo de datos.

Por ejemplo puede ser necesario determinar un gasto de diseño con periodo de retorno de 1000 años a partir de 25 años de registros. Si los gastos máximos anuales registrados se dibujan contra sus respectivos periodos de retornos, generalmente se observa una tendencia más o menos definida. El problema radica en cómo extender esta tendencia hasta el periodo de retorno deseado. Una posibilidad es extrapolar los datos a ojo, es decir gráficamente. Aunque este método pueda dar buenos resultados si se aplica con una persona con experiencia, tiene la desventaja de la subjetividad, esto es si 20 ingenieros lo aplican, es probable que haya 20 graficas diferentes.

Para eliminar esta subjetividad se debe buscar entre las diferentes funciones de distribución teóricas la que se ajuste mejor datos medidos, y usar esta para la extrapolación.

En la estadística existe diferentes funciones de distribución probabilística teórica; de hecho existen tantas como se quiere y obviamente no es posible probarlas todas para un problema particular. Por lo tanto, es necesario escoger de esas funciones, las que se adapten mejor al problema bajo análisis.

Entre las funciones de distribución de probabilidad en hidrología se estudiarán: Normal, Log-normal, Pearson III y Gumbel.

Las funciones anteriores, aun cuando son las comúnmente usadas en hidrología aplicada. las función normal y log-normal son generalmente apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles

del experimento bajo análisis, las funciones Gumbel se desarrollaron para análisis de los valores extremos de dichos resultados, y las funciones Pearson III ocupan un lugar intermedio.²

4.3.1.1 Distribución normal:

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Ecuación 1. Función de densidad de probabilidad Normal

Donde μ y σ son los parámetros de la distribución. Estos parámetros determinan forma de la función $f(x)$ y su posición en el eje x. En la Figura 1 se presenta:

² APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie. 9ed. .México D.F : Grupo Noriega, 2001. P. 252 - 253.

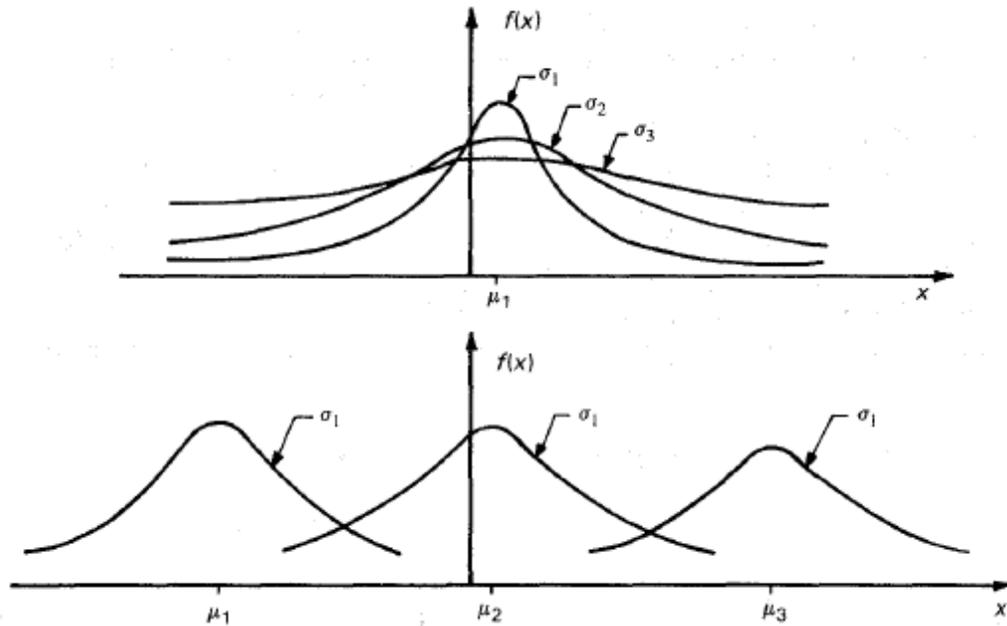


Figura 1. Función de densidad de probabilidad normal

Es posible demostrar que μ y σ son respectivamente la media y la desviación estándar de la población y puede estimarse como la media y la desviación estándar de los datos. De acuerdo con la ecuación de distribución normal, la distribución de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Hoy en día, no se conoce analíticamente la integral de la ecuación anterior por lo que es necesario recurrir a métodos numéricos para calcularla. Sin embargo, para hacer esto se requerirá una tabla para cada valor de μ y σ , por lo que se ha definido la variable estandarizada.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Esta normalmente con media cero y desviación estándar unitaria. Así, la distribución de probabilidad se puede escribir como: ³

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

4.3.1.2 Distribución log-normal:

En esta los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{x} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Ecuación 2. Función de densidad de probabilidad Log-Normal

Donde μ y σ son los parámetros de la distribución y se deduce que μ son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria. En esta grafica se muestra una función de densidad de probabilidad para diferentes valores de μ .³

$$f(x) = \frac{1}{x} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

³ APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie. 9ed. México D.F :Grupo Noriega. 2001, P. 253-254 - 255.

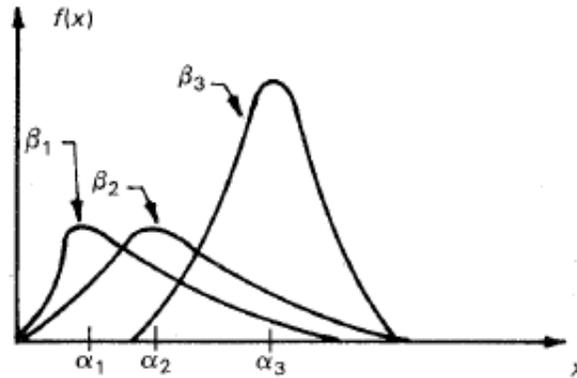


Figura 2. Función de densidad de probabilidad Log-normal

$$f(x) = \frac{1}{x} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

La distribución de probabilidad es, de acuerdo con la ecuación Log-normal:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\ln x} \frac{1}{t} \exp\left(-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) dt$$

Además la variable estandarizada se define como: ⁴

$$z = \frac{\ln x - \mu}{\sigma}$$

⁴ APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie. 9ed. .MéxicoD.F :Grupo Noriega. 2001, P. 258 - 259.

4.3.1.3 Distribución Pearson III:

Esta distribución comúnmente es utilizada para lluvias o caudales máximos anuales y se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma^3 \Gamma(3/\alpha)} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{3}{\alpha} - 1} e^{-\left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{3/\alpha}}$$

Ecuación 3. Función de densidad de probabilidad Pearson III.

Los parámetros μ , σ , α , se evalúan a partir de n datos medidos mediante el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\begin{aligned} \mu &= \sigma^2 \alpha + \mu \\ \sigma^2 &= \sigma^2 \\ \alpha &= \frac{2}{\sigma^2} \end{aligned}$$

Donde μ es la media, σ^2 es la varianza y α es el coeficiente de sesgo. Se define como:

$$\alpha = \frac{1}{\sigma^2} \frac{(\mu - x)^2}{\sigma^2}$$

Donde la función de distribución es:

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(3/\alpha)} \int_{-\infty}^x \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{3}{\alpha} - 1} e^{-\left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{3/\alpha}} dx$$

Sustituyendo

$$x = \frac{x - x_0}{x_1}$$

Y nos queda la ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{x_1 - x_0} \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right)^{n-1}$$

Esta ecuación cuadrada 2^o grados de libertad y $x^2 = 2x$.⁵

$$f(x) = \frac{1}{x_1 - x_0} \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right)^{n-1}$$

4.3.1.4 Distribución Gumbel:

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de la n eventos de cada muestra, es posible demostrar que a medida que n aumenta la distribución de probabilidad de x tiende a:

$$f(x) = \frac{1}{x_1 - x_0} \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right)^{n-1}$$

La densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{x_1 - x_0} \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right)^{n-1}$$

Ecuación 4. Función de densidad de probabilidad Gumbel.

⁵APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie. 9ed. .MéxicoD.F : Grupo Noriega. 2001, P. 260 - 261.

Donde μ y σ son los parámetros y se estiman:⁶

$$\hat{\mu} = \frac{1.2825}{\hat{\sigma}}$$

$$\hat{\sigma} = \hat{\sigma} - 0.45\hat{\sigma}$$

4.4. ANÁLISIS GRÁFICO

Un primer método que se usa para seleccionar la función consiste simplemente en inspeccionar una gráfica donde se haya dibujado cada una de las diferentes funciones junto con los puntos medidos como se observa en las figuras 3, 4 y 5.

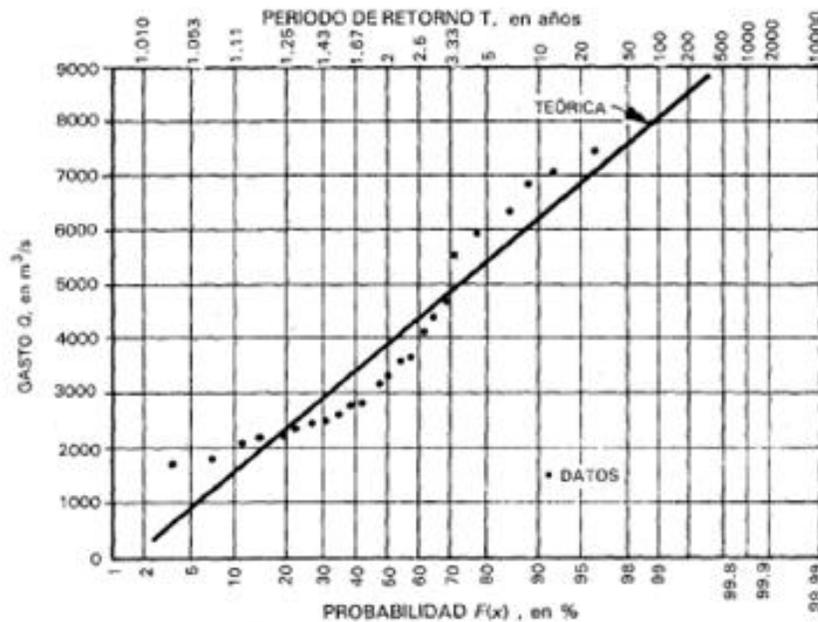


Figura 3. Análisis Gráfico la función Normal

⁶APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie. 9ed. .MéxicoD.F : Grupo Noriega. 2001, P. 263 - 264.

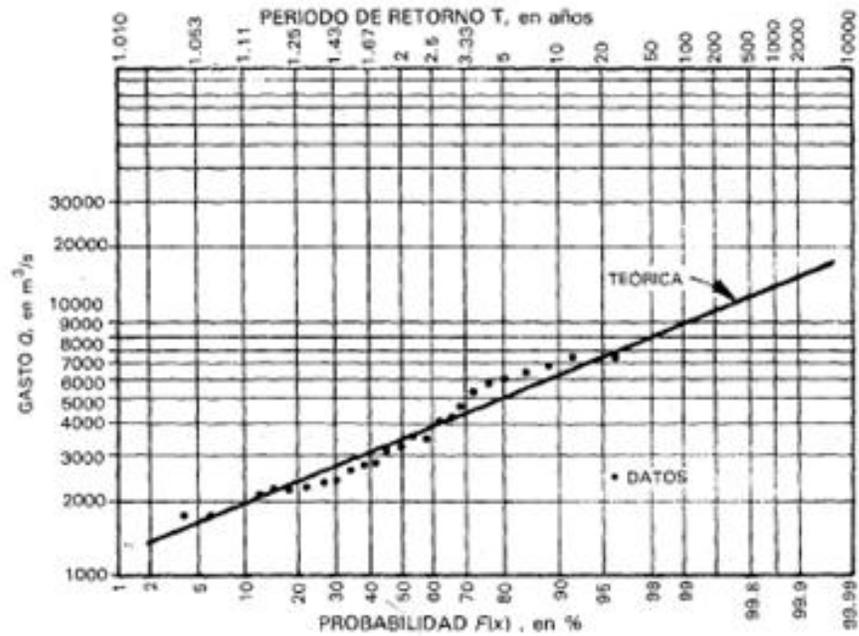


Figura 4. Análisis Grafico la función Log-Normal

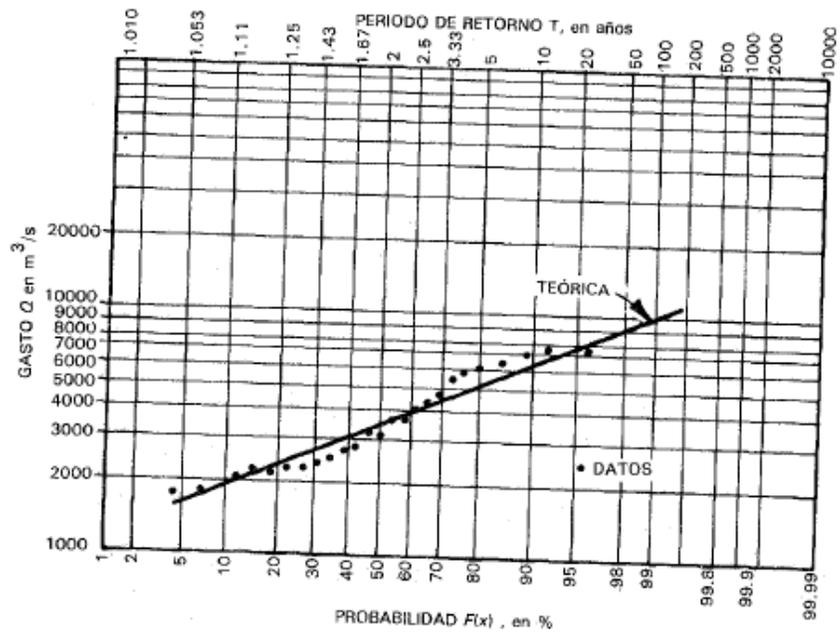


Figura 5. Análisis Grafico la función Pearson III

La función de distribución de probabilidad que se seleccione será la que se apegue visualmente mejor a los datos medidos. Este método se usa a veces, incluso, para ajustar las funciones de distribución de probabilidad a los datos medidos, dibujando en un papel especial para cada función dichos datos, escogiendo la función para la que el conjunto de puntos sea semejante a una línea recta y finalmente trazando a ojo dicha línea recta para poder hacer las extrapolaciones necesarias.

Este es un método con un alto grado de subjetividad y, usado aisladamente, puede ser un tanto peligroso. Sin embargo, es muy ilustrativo y recomendable para ser usado con otros métodos. Si lo aplica un ingeniero con experiencia, puede resultar el mejor de todos.⁷

4.4.1. AJUSTE A UNA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y sus parámetros asociados. El ajuste de distribuciones puede llevarse a cabo por el método de los momentos ó el método de la máxima verosimilitud.

⁷APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie. 9ed. .México D.F :Grupo Noriega 2001, P. 270- 271 - 272

4.4.1.1. MÉTODO DE LOS MOMENTOS

El método de los momentos fue desarrollado por primera vez por Karl Pearson en 1902. El consideró que unos buenos estimativos de los parámetros de una función de probabilidad son aquellos para los cuales los momentos de la función de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los momentos correspondientes de la información de la muestra. Lo anterior puede observarse en la Figura 6, si a cada uno de los valores de la información se le asignan una masa hipotética igual a su frecuencia relativa de ocurrencia ($1/n$) y si se imagina que este sistema de masas se rota alrededor del origen $x = 0$, entonces el primer momento de cada observación x_i alrededor del origen es el producto de su brazo de momento x_i y de su masa $1/n$, y la suma de estos momentos para toda la información es la media de la muestra

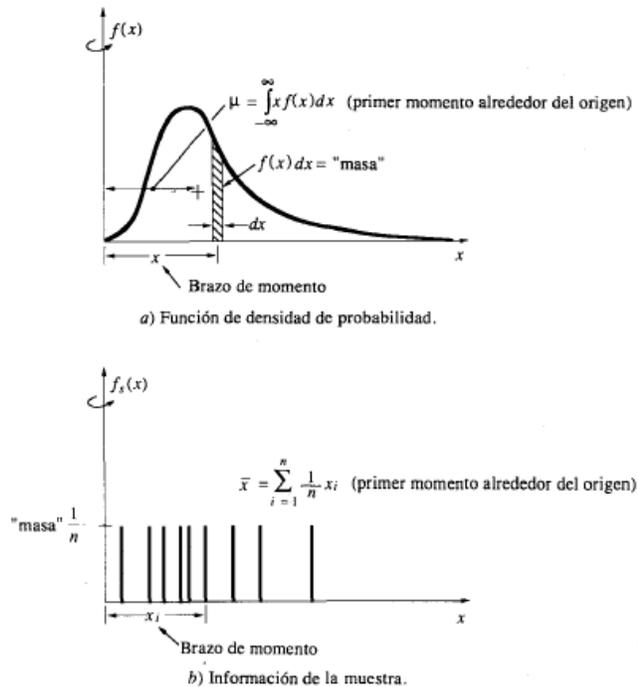


Figura 6. Distribución Método del momento

El método de los momentos selecciona valores para los parámetros de las funciones de densidad de probabilidad, de tal manera que sus momentos son iguales a aquellos de la información de la muestra.

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^k f(x) dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^k = \bar{x}^k$$

Esto es equivalente al centroide de un cuerpo. El centroide correspondiente de la función de probabilidad es:

$$\bar{x} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx}$$

Igualmente, los segundo y tercero momentos en la distribución de probabilidad puede igualarse a los valores de la muestra para determinar los valores de los parámetros de la distribución de probabilidad. Originalmente Pearson consideró momentos alrededor del origen, pero posteriormente se volvió común el uso de la varianza como el segundo momento central, $\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^2 f(x) dx$ y el coeficiente de asimetría como el tercer momento central estandarizado, $\gamma = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^3 f(x) dx}{\sigma^3}$, para determinar el segundo y el tercer parámetro de la distribución si se requiere.⁸

4.4.1.2. MÉTODO DE LA MÁXIMA VEROSIMILITUD

El método de la máxima verosimilitud fue desarrollado por r. a. Fisher (1922). El razonó que el mejor valor de un parámetro de una distribución de probabilidad debería ser el valor que maximizara la verosimilitud ó la probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra observada. Supóngase que el espacio muestral se divide

⁸CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. y MAYS, L. W. hidrología aplicada. Santa fe de Bogotá: Mc GRAW-HILL, 1994.p. 374-375

en intervalos de longitud de x y se toma una muestra de observaciones independientes e idénticamente distribuidas x_1, x_2, \dots, x_n .

El valor de la densidad de probabilidad para $X = x$ es $f(x)$, y la probabilidad de que la variable aleatoria ocurra en el intervalo que incluye x es $f(x) dx$ de X . debido a que las observaciones son independientes, su probabilidad de ocurrencia conjunta está dada por la ecuación como el producto $f(x_1) dx_1 f(x_2) dx_2 \dots f(x_n) dx_n = \prod_{i=1}^n f(x_i) dx_i$, y puesto que el tamaño del intervalo dx es fijo, el maximizar la probabilidad conjunta de la muestra observada es equivalente de maximizar la función de verosimilitud.

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i)$$

Debido a que muchas funciones de densidad de probabilidad son exponenciales, algunas veces es conveniente trabajar con la función logaritmo de la verosimilitud.

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i)$$

El método de la máxima verosimilitud teóricamente es el más correcto para ajustar distribuciones de probabilidad a información en el sentido de que produce los estimativos de parámetros más eficientes, aquellos que estiman los parámetros de la población con los menores errores promedio. Pero, algunas distribuciones de probabilidad, no existen solución analítica para todos los parámetros en términos de la estadística de la muestra y la función logaritmo de verosimilitud debe maximizarse numéricamente, lo cual puede ser bastante difícil. En general, el

método de los momentos es más fácil de aplicar que el método de la máxima verosimilitud y el más apropiado para análisis práctico en hidrología.⁹

4.4.1.3. PRUEBA DE LA BONDAD DEL AJUSTE

La bondad del ajuste de una distribución de probabilidad puede probarse comparando los valores teóricos y muestrales de la función de frecuencia relativa ó de frecuencia acumulada en el caso de la función de frecuencia relativa se utiliza la prueba χ^2 . El valor muestral de la frecuencia del intervalo i es de la ecuación $\frac{n_{ij}}{n} = \frac{O_i}{n}$, el valor teórico es $p_i = P(X \leq x_i) - P(X \leq x_{i-1})$. La prueba estadística χ^2 , χ^2_{α} esta dada por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(n_{ij} - np_i)^2}{np_i}$$

Donde m es el número de intervalos debe notarse que $n_{ij}(x_i) = n_{ij}$, el número de ocurrencias observadas en el intervalo i , y np_i es el correspondiente al número esperado de ocurrencia en el intervalo i ; luego el cálculo de la ecuación al elevar al cuadrado la diferencia entre el número de ocurrencias observadas y esperadas, dividiendo por el número de ocurrencias esperadas en el intervalo y sumando resultados para todos los intervalos.

Para describir la prueba χ^2 , debe definirse la distribución de probabilidad χ^2 . Una distribución χ^2 con v grados de libertad es la distribución para la suma de los cuadrados de v variables aleatorias normales estándar independiente Z_i ; esta suma es la variable aleatoria.

⁹CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. y MAYS, L. W. hidrología aplicada. Santa fe de Bogotá: Mc GRAW-HILL, 1994. p. 376-377-378.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

La función de distribución χ^2 esta tabulada en muchos textos de estadísticas. La prueba χ^2 , $\chi^2 = \chi^2 - \chi^2 - 1$, donde m es el número de intervalos tal como se describió anteriormente y p es el número de parámetros utilizados en el ajuste de la distribución propuesta. Se escoge un nivel de confianza para la prueba, este usualmente se expresa como $1 - \alpha$, donde α se conoce como el nivel de significancia. Un valor típico para el nivel de confianza es del 95%. La hipótesis nula para la prueba es que la distribución de probabilidad propuesta ajusta adecuadamente la información. Esta hipótesis se rechaza si el valor de χ^2 en la formula $\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ Es mayor que un valor limite, $\chi^2_{\alpha, v}$, $1 - \alpha$, determinado de la distribución χ^2 con v grados de libertad como el valor que tiene la probabilidad acumulado de $1 - \alpha$.¹⁰

4.5. MAPA DE ISOYETAS

Se trazan isolíneas que engloben puntos comprendidos en los intervalos elegidos. El valor de las isolíneas depende del periodo considerado y de la extensión de la zona de estudio; por ejemplo, para un mapa de isoyetas anuales podrían representarse isoyetas de 100 en 100 mm., aunque si se trata de un área sin grandes variaciones en la pluviometría, el intervalo debería ser menor.

¹⁰CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. y MAYS, L. W. hidrología aplicada. Santa fe de Bogotá: Mc GRAW-HILL, 1994.p. 378-379

Al trazar las isólineas, si en alguna zona no disponemos de suficientes puntos, las curvas de nivel del mapa pueden servir de ayuda si previamente hemos considerado la relación entre P y la altitud.

También se puede confeccionar un mapa de isoyetas para un día, con el fin de estudiar un aguacero determinado. En ese caso, la equidistancia entre isoyetas sería menor, por ejemplo de 10 mm.

Para calcular la P media (P_m), basta calcular la media ponderada: Los valores S_i son las superficies obtenidas planimetrando las franjas que quedan entre isoyetas, y P_i las precipitaciones asignadas a cada isoyeta (ver la Figura 7). Las precipitaciones correspondientes a las dos franjas extremas (P_d y P_n) se asignan a estima:

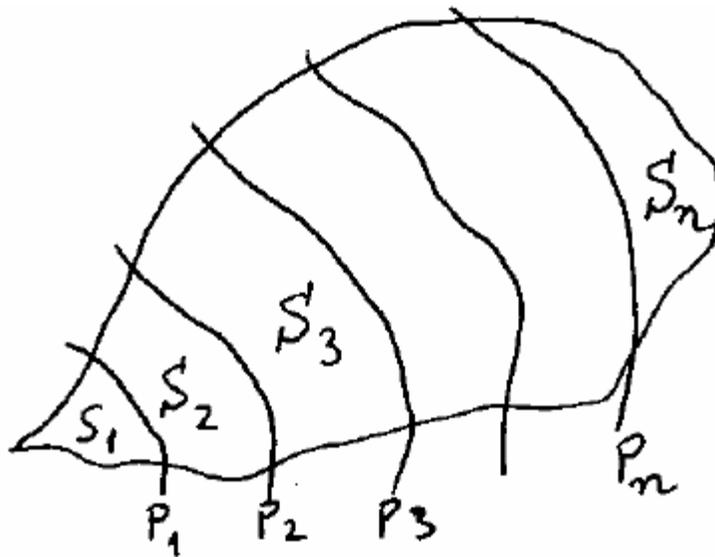


Figura 7. Mapa de Isoyetas

FIGURA TOMADA CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. y MAYS,

Un mapa de isoyetas es un documento básico dentro del estudio hidrológico de una cuenca: no solamente nos permite cuantificar el valor medio, como hemos indicado, sino que presenta gráficamente la distribución espacial de la precipitación para el periodo considerado.¹¹

$$\bar{P} = \frac{P_1 \cdot A_1 + P_2 \cdot A_2 + P_3 \cdot A_3 + \dots + P_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

4.6. ESTADO ACTUAL

4.6.1. SIG (LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA)

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas

¹¹SÁNCHEZ, F. Precipitaciones : Mapa de isoyetas. San Román. Dpto. Geología. Univ. Salamanca (España). Recuperado en Junio de 2008. Disponible en internet: <<http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Precipitaciones.pdf>>.

coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con el estudio científico de la Biodiversidad.

Un SIG responde:

- Localización ¿Qué hay en?
- Condición ¿Dónde sucede que?
- Tendencias ¿Qué ha cambiado?
- Rutas ¿Cuál es el camino óptimo?
- Pautas ¿Qué pautas existen?
- Modelos ¿Qué ocurriría si?

4.6.2. Importancia de los SIG

Las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía, analizar patrones, relaciones, y tendencias en la información, todo con el interés de contribuir a la toma de mejores decisiones.¹²

¹²GUTIÉRREZ, E. SIG (los sistemas de información geográfica).Recuperado el 30 de abril de 2009. Disponible en internet: <<http://manuelgross.bligoo.com/content/view/501371/Los-sistemas-de-informacion-Geografica-SIG.html>>.

4.6.3. Hydrological Frequency Analysis(HYFRAN)

Es un software que nos permite ajustar datos a través de métodos estadísticos incluyendo un juego de instrumentos matemáticos, poderosos, accesibles y flexibles que permiten en particular el análisis estadístico de eventos extremos y de manera más general el análisis estadístico de serie de datos.

HYFRAN ha sido desarrollado al Instituto Nacional de Investigación Científica . Agua, Tierra y Medioambiente (INRS-ETE) de la Universidad de Québec con el patrocinio de Hydro-Québec (el principal productor de energía hidroeléctrica del mundo) y del Consejo de investigación en las ciencias naturales y en ingeniería de Canadá (CRSNG).

Inicialmente, concebido para al análisis de frecuencia de eventos extremos, HYFRAN puede ser usado para todo estudio que requiere el ajuste de una distribución estadística de una serie de datos independientes y idénticamente distribuidas, y esto, en áreas profesionales tan variadas como ingeniería, medioambiente, meteorología, medicina, etc.¹³

Estas son todas las funciones que se pueden manejar con este programa:

- Comprobación de hipótesis estadísticas.
- Independencia de datos de series.

¹³CASTILLO, I.Hydrological Frequency Analysis (HYFRAN).Recuperado el 30 de enero de 2008. Disponible en internet <<http://aguaingenieria.blogspot.com/2008/01/hydrological-frequency-analysis.html>>.

- La homogeneidad de las series de datos(paso de series de tiempo, las hipótesis estadísticas, efecto estacional).
- La detección de las tendencias.
- La detección de valores atípicos.

Estas son las bondades de ajuste de las distribuciones es seleccionadas en el programa:

- a) Gran número de distribuciones de probabilidad estadística:
Gamma de la familia:
Gamma
Inversa Gamma
Gamma Generalizada
Pearson tipo III
Log Pearson tipo III
- b) Otras distribuciones:
Exponencial, Weibull, Valor Extremo Generalizado (GEV),
Compuesto exponencial de Poisson, Normal, Gumbel, Halphen(A, B, B-1), Generalizada de Pareto, Lognormal(2 ó 3parámetros).
- c) Distribución mixta:
Lognormal y Weibull, modificado para tener en cuenta los valores nulos.
- d) Numerosos métodos de ajuste:
Método de los Momentos (normal /peso), Método de los Momentos(CMR, SAM, BOB), Método de máxima verosimilitud,

Estimación de cuantiles XT de periodo de retorno T con intervalos de confianza.¹⁴

4.7. IDEAM

4.7.1. Objetivos Misionales del IDEAM.

a) Generación y recopilación de datos.

Incluye, por una parte el dato primario generado por la red hidrometeoro lógica, así como la recolección de datos ambientales procedente de otros actores institucionales relacionados con diferentes aspectos biofísicos, la contaminación y degradación de los recursos naturales.

b) Estructuración de la Información

Los datos se ordenan, verifican y analizan en forma estructurada, de tal manera que puedan ser utilizados por los diferentes usuarios.

c) Generación de Conocimiento sobre el Comportamiento de las Variables Ambientales.

d) Generación de Conocimiento sobre las Relaciones Sociedad Æ Naturaleza.

Generación de conocimiento sobre las relaciones sociedad . naturaleza dentro de la orientación del desarrollo sostenible.

Clasificación y zonificación del uso del territorio nacional para los fines de planificación y ordenamiento del territorio.

Orientación del manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación.

¹⁴ disponible en internet: <<http://www.wrpllc.com/books/hyfraninfo.html>>.

Apoyo a las políticas del control de la contaminación y la degradación.

4.7.2. Funciones:

- Suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental.
- Realizar el levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país.
- Establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento ambiental del territorio.
- Obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación.
- Establecer y poner en funcionamiento las infraestructuras oceanográficas, mareográficas, meteorológicas e hidrológicas nacionales.
- Efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación especialmente en lo referente a su contaminación y degradación.
- Realizar estudios e investigaciones sobre recursos naturales, en especial la relacionada con recursos forestales y conservación de suelos, y demás actividades que con anterioridad a la Ley 99 de 1993.
- Realizar los estudios e investigaciones sobre hidrología y meteorología que con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venía desempeñando el HIMAT.
- Acopiar, almacenar, procesar, analizar y difundir datos y allegar o producir la información y los conocimientos necesarios para realizar el

seguimiento de la interacción de los procesos sociales, económicos y naturales y proponer alternativas tecnológicas, sistemas y modelos de desarrollo sostenible.

- Dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las entidades científicas vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente, con las Corporaciones y demás entidades del SINA.
- Prestar el servicio de información en las áreas de su competencia a los usuarios que la requieran.¹⁵

4.8. N de confiabilidad

Según la norma **NTP 283 Encuestas: metodología para su utilización (1991)**, se determinó el tamaño del muestro utilizado para el análisis, el cual para el cálculo del número mínimo de población que debe formar parte de una muestra exhaustiva al azar, se realiza como:

✓ **Para una Población Finita:**

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{e^2} ; \text{ Siempre que } np > 5 \text{ y } nq < 5$$

Siendo:

¹⁵COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Actualizado el 18 marzo de 2011. Disponible en internet: <<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=6#mision1>>.

n = tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

α = el nivel de confianza elegido.

$z_{\alpha/2}$ = el valor de z (siendo z una variable normal centrada y reducida), que deja fuera del intervalo $\pm z_{\alpha/2}$ una proporción α de los individuos.

p = proporción en que la variable estudiada se da en la población.

q = 1 - p.

e = error de la estimación.

Por lo general, la información que se va a recoger va a seguir la ley normal (ley de Laplace-Gauss). Su representación gráfica es similar a una campana y bajo su superficie están comprendidos todos los individuos.

El nivel de confianza (α) es el intervalo en el cual existe una probabilidad 1 - α de que esté contenido el parámetro p. Este intervalo está comprendido entre $+z_{\alpha/2}$ y $-z_{\alpha/2}$. En el cuadro 5 podemos ver estas probabilidades y las puntuaciones $z_{\alpha/2}$ que les corresponden.

P	Q	pq
0,01	0,99	0,0099
0,05	0,95	0,0475
0,10	0,90	0,0900
0,20	0,80	0,1600
0,30	0,70	0,2100
0,40	0,60	0,2400
0,50	0,50	0,2500

Cuadro 5. Nivel de confianza y valores $z_{\alpha/2}$.

Esta dificultad se puede solventar de una de las siguientes formas:

Si existen estudios anteriores sobre la misma temática, podemos obtener, a través de ellos, una idea aproximada del valor de p. Se puede realizar un sondeo previo, con una muestra pequeña, para estimar el valor de p. Por la teoría de probabilidad

se sabe que la suma de probabilidades tiene que ser igual a 1. En el caso que nos ocupa, solo hay dos posibilidades: que dicha variable se dé en la población (probabilidad p) o que no se dé (probabilidad q). Aplicando lo anterior tendremos que $p + q = 1$. Como lo que nos interesa son los productos pq,

Vamos a ver qué valores pueden tomar cada uno de ellos y su producto; Como se puede observar el valor pq más elevado es el que corresponde a $p = q = 0,5$. Ese será el caso más desfavorable, puesto que al estar en el numerador de ambas fórmulas implica que, cuanto más elevado sea, mayor tendrá que ser la muestra, por lo tanto éste será el valor que se tendrá que tomar cuando no se tenga ninguna información.

A un riesgo $\alpha = 0,05$ le corresponde un valor de $Z_{\alpha} = 1,96 \approx 2$, si tomamos $p = q = 0,5$ y sustituyendo estos valores en las fórmulas que dan el tamaño de la muestra, quedan como sigue:

$$n = \frac{Z^2}{2pq} \quad \text{Ecuación 5.N de confiabilidad}$$

En el caso de poblaciones finitas, con las condiciones establecidas (riesgo $\alpha = 0,05$; $Z_{\alpha} = 1,96 \approx 2$; $p = q = 0,5$), si aplicamos la fórmula (b), tenemos el tamaño de la población para diferentes márgenes de error, que se indica en el Figura 8 y 9.

POBLACION	MARGENES DE ERROR					
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	10 %
500					222	83
1.000				385	286	91
5.000		1.667	909	556	370	98
10.000	5.000	2.000	1.000	588	385	99
50.000	8.333	2.381	1.087	617	397	100
100.000	9.091	2.439	1.099	621	398	100

Figura 8. Determinación del tamaño de la muestra en el caso de poblaciones finitas

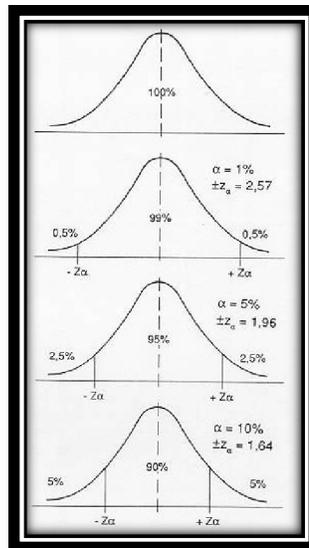


Figura 9. Nivel de confianza y valores Z_{α}

5. METODOLOGIA

5.1. TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio a implementar en este proyecto será de tipo científico y tecnológico, debido a que se utilizarán herramientas estadísticas, con el fin de recomendar la función de probabilidad que debe aplicarse a cada región del país.

5.2. FUENTES Y TECNICAS PARA LA RECOLECCION DE LA INFORMACION

5.2.1. Fuente primaria

Como información primaria se tendrá en cuenta la información suministrada por el IDEAM (Instituto Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) y la CAR. En el cuadro (6) se encuentra las estaciones utilizadas en la investigación.

Cuadro 6. Estaciones recopiladas

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
1	BRECHON EL	1107013	Andina	Antioquía	783844	1170063
2	REMEDIOS LOS	1506001	Caribe	La Guajira	1130753	1743224
3	CUESTECITA	1506002	Caribe	La Guajira	1159938	1730447
4	LAGUNITAS	1506004	Caribe	La Guajira	1132702	1711883
5	SABANAS DE MANUELA	1506005	Caribe	La Guajira	1118155	1704452
6	LOMITAS LAS	1506006	Caribe	La Guajira	1152810	1697218
7	JUGUETE EL	1506007	Caribe	La Guajira	1143753	1684269
8	CANAVERALES	1506008	Caribe	La Guajira	1134644	1682387
9	GUACAMAYO	1506009	Caribe	La Guajira	1141795	1715610
10	POZO HONDO	1506010	Caribe	La Guajira	1138183	1708218

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
11	EJEMPLO EL	1506011	Caribe	La Guajira	1161796	1723080
12	ESPERANZA HDA LA	1506013	Caribe	La Guajira	1163608	1724933
13	SAN FRANCISCO HDA	1506014	Caribe	La Guajira	1169071	1724961
14	CONEJO EL	1506015	Caribe	La Guajira	1140106	1684253
15	PAJONALES HDA	1506016	Caribe	La Guajira	1161823	1717547
16	GLORIA LA	1506018	Caribe	La Guajira	1149039	1724863
17	ROCHE	1506020	Caribe	La Guajira	1156359	1717520
18	VALENCIA	4401503	Andina	Cauca	712206	703602
19	GUAQUIRA LA	3509510	Andina	Boyacá	1121643	1096056
20	SAN JOSE DE ISNOS	2101005	Andina	Huila	753041	705389
21	MEDIANIA	2101006	Andina	Huila	766044	716437
22	PALESTINA	2101010	Andina	Huila	779003	690604
23	INSFOPAL	2101011	Andina	Huila	782722	697976
24	LAGUNA LA	2101004	Andina	Huila	775310	707205
25	BAJO FRUTAL	2101013	Andina	Huila	760443	688781
26	APTO OLAYA HERRERA	2701507	Andina	Antioquía	833703	1179121
27	SARACHUI	2801013	Caribe	Cesar	1074474	1684043
28	CANAFISTO	2621502	Andina	Antioquía	807943	1201328
29	GUERRERITO	2617026	Andina	Risaralda	822343	1075900
30	MONTEBELLO	2618020	Andina	Antioquía	840982	1140383
31	ARENA LA	1506027	Caribe	La Guajira	1147201	1728543
32	PAULINA LA	1506504	Caribe	La Guajira	1138221	1698998
33	CAMP INTERCOR	1506505	Caribe	La Guajira	1165448	1721254
34	CRUZ HDA LA	1506510	Caribe	La Guajira	1143624	1713774
35	CAURINA	1506511	Caribe	La Guajira	1167326	1710198
36	LAGUNA D OXIDACION	1506512	Caribe	La Guajira	1163608	1724933
37	MINA LA	1506513	Caribe	La Guajira	1161805	1721236
38	PTO BOLIVAR	1507506	Caribe	La Guajira	1235593	1839767
39	CHINGOLITA LA	1508011	Caribe	La Guajira	1180019	1721331
40	ESC AGR CARRAIPIA	1508503	Caribe	La Guajira	1187242	1732439
41	PALESTINA CASA CUR	2101002	Andina	Huila	782722	697976
42	MANZANARES	2101008	Andina	Huila	784577	697974
43	SINAI	2101012	Andina	Huila	779009	696136
44	CANDELA LA	2101014	Andina	Huila	743747	694334

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
45	VILLA FATIMA	2101016	Andina	Huila	740045	701717
46	ESC BELEN	2101017	Andina	Huila	766028	703528
47	TABOR EL	2101018	Andina	Huila	777122	666633
48	ALTO DEL OBISPO	2101019	Andina	Huila	758594	694316
49	SULCHOMISCO	2101020	Andina	Huila	754871	685099
50	MONTECRISTO	2101021	Andina	Huila	765994	674021
51	MORELIA	2101022	Andina	Huila	766047	718281
52	BETANIA TV	2101023	Andina	Huila	753036	701700
53	VILLALOBOS TV	2101024	Andina	Huila	760413	661117
54	HORNITOS	2101025	Andina	Huila	760473	712756
55	STA HELENA	2101028	Andina	Huila	773444	697987
56	ALTAMIRA	2102002	Andina	Huila	808720	720074
57	RESINA	2103003	Andina	Huila	819833	703469
58	GUADALUPE	2103005	Andina	Huila	812424	714539
59	SAN ADOLFO	2103006	Andina	Huila	782695	672160
60	ACEVEDO	2103008	Andina	Huila	799417	694271
61	JAGUA LA	2103009	Andina	Huila	821714	729279
62	SAN ANTONIO DEL PE	2103011	Andina	Huila	830979	720052
63	AGRADO	2104001	Andina	Huila	812452	740352
64	ANTENA TV	2104002	Andina	Huila	818027	749564
65	OPORAPA	2104003	Andina	Huila	782745	718260
66	PTE BALSEADERO RAD	2104004	Andina	Huila	821724	738497
67	TARQUI	2104005	Andina	Huila	801304	723770
68	TRES ESQUINAS	2104006	Andina	Huila	816156	734816
69	ESCALERETA LA	2104007	Andina	Huila	821722	736654
70	ARGENTINA LA	2105006	Andina	Huila	782769	736701
71	BELALCAZAR	2105007	Andina	Cauca	790259	786478
72	HATILLO EL	2105014	Andina	Huila	825462	764305
73	STA LETICIA	2105027	Andina	Cauca	760528	751485
74	TESALIA N 2	2105029	Andina	Huila	814338	766162
75	ESC AGR LA PLATA	2105502	Andina	Huila	795783	758811
76	PITA LA	2106004	Andina	Huila	834707	738484
77	GIGANTE N 2	2106007	Andina	Huila	836580	756918
78	GARZON	2106008	Andina	Huila	827284	734804

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
79	CARMEN EL	2113006	Andina	Huila	836666	826973
80	PST DE MONTA	2116501	Andina	Tolima	796045	910013
81	PAJAS BLANCAS	2119022	Andina	Cundinamarca	946079	972477
82	BATÁN	2119046	Andina	Cundinamarca	964580	972467
83	CONC DESARROLLO	2103010	Andina	Huila	830969	708990
84	LA PLAYA	2119026	Andina	Cundinamarca	968265	931919
85	HDA LA MESA	2119047	Andina	Cundinamarca	983080	966932
86	UNIV. FUSAGASUGA	2119514	Andina	Cundinamarca	968279	970623
87	DORADO EL	2119515	Andina	Cundinamarca	970123	950349
88	VENTALARGA	2120026	Andina	Cundinamarca	1003428	1051711
89	SAUCIO	2120027	Andina	Cundinamarca	1042239	1055410
90	GUANQUICA No 1	2120033	Andina	Cundinamarca	1016363	1064614
91	VILLAPINZÓN	2120043	Andina	Cundinamarca	1053319	1066476
92	PRADERA LA	2120044	Andina	Cundinamarca	994187	1044339
93	APOSTOLICA	2120051	Andina	Cundinamarca	981235	990892
94	UNION LA	2120055	Andina	Cundinamarca	981244	1029597
95	GUARANI EL PEÑÓN	2120060	Andina	Cundinamarca	975683	981679
96	TESORO	2120069	Andina	Cundinamarca	973847	1022226
97	MARGARITAS LAS	2120071	Andina	Cundinamarca	981243	1025910
98	STA ANA	2120073	Andina	Cundinamarca	1021909	1055400
99	ZIPAQUIRÁ	2120074	Andina	Cundinamarca	1008974	1046182
100	BOJACÁ	2120075	Andina	Cundinamarca	971995	1014855
101	TORCA	2120077	Andina	Bogotá	1005279	1020379
102	SAN JOSÉ	2120080	Andina	Cundinamarca	1020065	1042498
103	BOSQUE EL	2120085	Andina	Bogotá	999732	987204
104	SALITRE EL	2120088	Andina	Cundinamarca	1008971	1064613
105	CHISACÁ	2120089	Andina	Bogotá	984930	965089
106	CONSUELO EL	2120096	Andina	Cundinamarca	1033004	1042503
107	STA TERESA	2120103	Andina	Cundinamarca	1016375	1007479
108	TOCANCIPÁ	2120104	Andina	Cundinamarca	1018217	1040655
109	PANTANO REDONDO 1	2120106	Andina	Cundinamarca	1005277	1048025
110	USAQUÉN	2120111	Andina	Bogotá	1007129	1009321
111	CASITA LA	2120112	Andina	Cundinamarca	1007129	1003792
112	ALMAVIVA	2120113	Andina	Cundinamarca	1007127	1029595

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
113	EDIF. MANUEL MEJIA	2120115	Andina	Bogotá	999732	1001948
114	LOCAL EL	2120133	Andina	Cundinamarca	1042246	1042508
115	PARQUE SOPÓ	2120134	Andina	Cundinamarca	1007128	1016693
116	STA INES	2120136	Andina	Cundinamarca	994185	1024065
117	ENCANTO EL	2120138	Andina	Cundinamarca	1021907	1062773
118	ACANDY	2120141	Andina	Cundinamarca	1021911	1049871
119	PICOTA LA	2120156	Andina	Bogotá	994183	996419
120	ALCO	2120159	Andina	Cundinamarca	1008975	1033281
121	FUTE EL	2120166	Andina	Cundinamarca	977538	1000109
122	HOYO ARRIBA EL	2120167	Andina	Cundinamarca	1029299	1060932
123	ALTO DE AIRE	2120168	Andina	Cundinamarca	1031144	1068306
124	LADERA GRANDE	2120169	Andina	Cundinamarca	1023755	1062773
125	LLANO EL	2120170	Andina	Cundinamarca	1027450	1064618
126	SAN JORGE	2120172	Andina	Cundinamarca	986784	990891
127	CAMPOBELLO	2120173	Andina	Cundinamarca	968298	1018542
128	MANJUI	2120174	Andina	Cundinamarca	966451	1022229
129	STA ISABEL	2120176	Andina	Cundinamarca	1001580	1042496
130	ANCLAJE 14	2120177	Andina	Cundinamarca	964592	1000113
131	PEDRO PALO	2120178	Andina	Cundinamarca	964596	1009329
132	ARGENTINA	2120179	Andina	Cundinamarca	951656	1016708
133	SAN GREGORIO	2120180	Andina	Cundinamarca	953500	1009334
134	POZO AZUL	2120181	Andina	Cundinamarca	918322	968813
135	PEÑAS BLANCAS	2120182	Andina	Cundinamarca	966439	994583
136	DARÍO VALENCIA	2120183	Andina	Cundinamarca	959043	1000116
137	LAG DEL INDIO	2120184	Andina	Cundinamarca	957182	978000
138	TRIBUNA LA	2120185	Andina	Cundinamarca	962756	1027760
139	MARÍA LA	2120186	Andina	Cundinamarca	1031159	1033287
140	BOMBAS SESQUILÉ	2120187	Andina	Cundinamarca	1031152	1049875
141	VILLA PAULA	2120188	Andina	Cundinamarca	999732	1036966
142	COL JOSE DE CALDAS	2120190	Andina	Cundinamarca	949786	983533
143	GUANQUICA	2120193	Andina	Cundinamarca	1016363	1064614
144	CHOCHE EL	2120194	Andina	Cundinamarca	1027462	1033285
145	MONTECILLOS	2120195	Andina	Cundinamarca	1029310	1035129
146	CEDRAL EL	2120213	Andina	Cundinamarca	1008973	1051712

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
147	GUERRERO	2120214	Andina	Cundinamarca	1005276	1057240
148	RAMADA LA	2120516	Andina	Cundinamarca	988637	1013008
149	LUMBRE LA	2120525	Andina	Bogotá	988635	1001949
150	CHECUA	2120540	Andina	Cundinamarca	1023757	1057244
151	REPRESA DEL NEUSA	2120541	Andina	Cundinamarca	1010820	1060927
152	IBERIA LA	2120548	Andina	Cundinamarca	1040395	1048036
153	PRIMAVERA LA	2120557	Andina	Cundinamarca	984942	1027753
154	APTO GUAYMARAL	2120559	Andina	Bogotá	999732	1024065
155	MUÑA EL	2120561	Andina	Cundinamarca	981236	994578
156	GUATAVITA	2120562	Andina	Cundinamarca	1079228	1031479
157	TABIO	2120565	Andina	Cundinamarca	1016373	1018538
158	VENECIA	2120629	Andina	Cundinamarca	962757	1029603
159	DOÑA JUANA	2120630	Andina	Bogotá	990483	989048
160	TISQUESUSA	2120631	Andina	Cundinamarca	973847	1024070
161	FORTUNA LA	2120632	Andina	Cundinamarca	1053312	1075692
162	BARRANCAS	2120633	Andina	Cundinamarca	1027451	1062775
163	PARAISO PERDIDO	2120634	Andina	Cundinamarca	968285	985367
164	LAGOS LOS	2120635	Andina	Cundinamarca	960887	989057
165	TATAMBO	2120636	Andina	Cundinamarca	923871	966965
166	VIOLETAS LAS	2120637	Andina	Cundinamarca	931280	976174
167	MESA LA	2120639	Andina	Cundinamarca	960895	1003801
168	VICTORIA LA	2120640	Andina	Cundinamarca	942387	985381
169	ESC SAMPER MADRID	2120641	Andina	Cundinamarca	944241	990909
170	ARGELIA	2120644	Andina	Cundinamarca	933124	968800
171	MESITAS	2120646	Andina	Cundinamarca	962742	998271
172	ESPERANZA LA	2120647	Andina	Cundinamarca	971994	1011169
173	PALOQUEMAO	2120652	Andina	Cundinamarca	968298	1016699
174	REPRESA SISGA	2120659	Andina	Cundinamarca	1038543,4	1053564
175	PLACER EL	2123502	Andina	Cundinamarca	925759	1007513
176	APTO PALANQUERO	2303502	Andina	Cundinamarca	936934	1097818
177	VIRGINIA LA	2120046	Andina	Cundinamarca	1001581	1035123
178	BORRACHO EL	2120049	Andina	Cundinamarca	1008972	1062770
179	MADRID	2120139	Andina	Cundinamarca	975693	1014854
180	SELVA LA	2120151	Andina	Cundinamarca	1049630	1057257

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
181	ALISO EL	2120189	Andina	Cundinamarca	1018208	1075673
182	PLANADAS	2120691	Andina	Cundinamarca	1003430,6	1003792
183	ENTRERRIOS	2120611	Andina	Cundinamarca	981239	1005637
184	SAMANA	2305504	Andina	Cundinamarca	898134	1090493
185	TUSCOLO EL	2306014	Andina	Cundinamarca	940589	1051735
186	UTICA	2306019	Andina	Cundinamarca	955383	1064627
187	AGUA FRÍA	2306033	Andina	Cundinamarca	955377	1055411
188	SAN ISIDRO	2306034	Andina	Cundinamarca	953525	1049883
189	ESC VOCACIONAL PACHO	2306507	Andina	Cundinamarca	986797	1062771
190	ACOMODO EL	2306516	Andina	Cauca	972007	1046187
191	GUADUAS	2306517	Andina	Cundinamarca	942356	939304
192	STA ANA	2903037	Caribe	Bolívar	839024	1623490
193	APTO. RAFAEL NUÑEZ	1401502	Caribe	Bolívar	842785	1647447
194	STA ROSA D SIMITI	2320503	Caribe	Bolívar	1001571	1372422
195	PTO COLOMBIA	2904023	Caribe	Atlántico	903186	1706226
196	APTO E CORTISSOZ	2904502	Caribe	Atlántico	945068	1695067
197	MONTELIBANO (CUBA HDA)	2502516	Caribe	Córdoba	852724	1376348
198	GUAYMARAL	2803504	Caribe	Cesar	1047262	1586284
199	JUAN DE ACOSTA	2904511	Caribe	Atlántico	894023	1689660
200	APTO LOS GARZONES	1308504	Caribe	Córdoba	805341	1466892
201	CRISTO REY	1204502	Caribe	Córdoba	763305	1494783
202	PLANETA RICA	2502519	Caribe	Córdoba	832673	1420672
203	TOTUMAL	2321013	Caribe	Cesar	1052986	1405633
204	APTO RAFAEL BARVO	2502508	Caribe	Sucre	867893	1523801
205	TOLUVIEJO	1309005	Caribe	Sucre	851460	1536768
206	APTO EL EMBRUJO	1702502	Caribe	San Andrés y pr	210652	1981362
207	APTO ALM PADILLA	1506501	Caribe	La guajira	1125198	1767174
208	APTO SIMON BOLIVAR	1501505	Caribe	Magdalena	983350	1722680
209	LA UNION	2906024	Caribe	Magdalena	985149	1674746
210	EL SEIS	2502530	Caribe	Magdalena	986919	1529109
211	BERRUGAS	1309003	Caribe	Sucre	831443	1564513
212	SINCELEJO	2502013	Caribe	Sucre	855060	1520159
213	ARJONA	2903004	Caribe	Bolívar	860950	1625241

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
214	LA YE	1501502	Caribe	Magdalena	983342	1707931
215	SABANALARGA	2904019	Caribe	Atlántico	908545	1667491
216	MAMPUJAN	2903078	Caribe	Bolívar	871809	1597542
217	APTO ALFONSO LOPEZ	2803503	Caribe	Cesar	1090985	1645365
218	APTO SESQUICENTENA	1701501	Caribe	San Andrés y pr	167998	1895210
219	APTO LAS FLORES	2502509	Caribe	Magdalena	1012563	1486711
220	NORMAL MANATI	2903508	Caribe	Atlántico	903016	1647225
221	LANDAZURI	2312009	Andina	Santander	1029246	1178892
222	STA RITA	2312012	Andina	Boyacá	1018198	1110692
223	PAUNA	2312014	Andina	Boyacá	1010811	1116220
224	PINOS LOS	2312019	Andina	Cundinamarca	1005275	1070142
225	PAIME	2312024	Andina	Cundinamarca	992343	1084887
226	EL CARMEN	2314502	Andina	Santander	1062391	1230529
227	PIEDECUESTA GJA	2319070	Andina	Santander	1110238	1265631
228	LLANO GRANDE	2319511	Andina	Santander	1099176	1271139
229	CARUPA HOSPITAL	2401002	Andina	Cundinamarca	1020053	1083046
230	COMODA LA	2401011	Andina	Santander	1071701	1154967
231	SIMIJACA	2401015	Andina	Cundinamarca	1025589	1099636
232	RAQUIRA	2401018	Andina	Boyacá	1049597	1103336
233	VELEZ GJA	2401020	Andina	Santander	1045864	1156785
234	JESUS MARIA	2401021	Andina	Santander	1032955	1142031
235	OIBA	2401024	Andina	Santander	1084577	1184476
236	LA CANDELARIA	2401026	Andina	Boyacá	1053292	1101496
237	EL PINO	2401027	Andina	Cundinamarca	1025599	1071989
238	TAPIAS	2401028	Andina	Cundinamarca	1040378	1077526
239	SUTAMARCHAN	2401029	Andina	Boyacá	1051436	1112553
240	EL HATILLO	2401030	Andina	Cundinamarca	1031147	1062776
241	LOS ARRAYANES	2401031	Andina	Boyacá	1040359	1108859
242	EL ESPINO	2401033	Andina	Cundinamarca	1038528	1081211
243	EL HATO	2401035	Andina	Cundinamarca	1020055	1075674
244	MONSERRATE	2401036	Andina	Cundinamarca	1031135	1088580
245	SOCOTA	2401037	Andina	Cundinamarca	1018204	1088575
246	EL PUENTE	2401038	Andina	Cundinamarca	1045917	1083059

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
247	EL TRIANGULO	2401039	Andina	Cundinamarca	1051463	1077533
248	CALDAS	2401042	Andina	Boyacá	1023740	1105165
249	ESCLUSA MERCHAN	2401043	Andina	Boyacá	1036658	1121759
250	TRES ESQUINAS	2401044	Andina	Cundinamarca	1025594	1086734
251	STA SOFIA	2401046	Andina	Boyacá	1053274	1123614
252	EL PEDREGAL	2401049	Andina	Cundinamarca	1023752	1070146
253	EL ZARZAL	2401051	Andina	Cundinamarca	1045908	1095961
254	EL HATO N° 1	2401052	Andina	Cundinamarca	1018208	1075673
255	EL HATO N° 2	2401053	Andina	Cundinamarca	1018208	1073830
256	EL HATO N° 3	2401054	Andina	Cundinamarca	1014513	1071986
257	EL HATO N° 4	2401055	Andina	Cundinamarca	1014514	1068300
258	EL HATO N° 5	2401056	Andina	Cundinamarca	1014514	1068300
259	EL HATO N° 6	2401057	Andina	Cundinamarca	1016362	1070144
260	EL HATO N° 7	2401058	Andina	Cundinamarca	1018209	1070144
261	EL HATO N° 8	2401059	Andina	Cundinamarca	1020056	1073831
262	CENTRAL N° 2	2401068	Andina	Santander	1042190	1132821
263	ISLA DEL SANTUARIO	2401110	Andina	Cundinamarca	1038520	1095956
264	LA BOYERA	2401511	Andina	Cundinamarca	1025597	1077519
265	CARRIZAL	2401515	Andina	Cundinamarca	1034841	1066464
266	ESCLUSA TOLON	2401518	Andina	Boyacá	1032970	1112541
267	NOVILLEROS	2401519	Andina	Cundinamarca	1032986	1081208
268	ALTO SABOYA	2401520	Andina	Boyacá	1029272	1123598
269	SUTATAUSA	2401521	Andina	Cundinamarca	1025599	1071989
270	SAN MIGUEL DE SEMA	2401531	Andina	Boyacá	1040363	1101487
271	TIBASOSA	2403041	Andina	Boyacá	1119737	1127391
272	LA PUTANA	2405007	Andina	Santander	1060489	1282139
273	PTE LA PAZ	2406006	Andina	Santander	1075227	1276629
274	HDA TRIGUEROS	2406503	Andina	Santander	1080754	1274794
275	SILVIA PTA ELECTRI	2602002	Pacifico	Cauca	727190	782900
276	MONDOMO	2602025	Pacifico	Cauca	719832	812431
277	JAPIO	2602503	Pacifico	Cauca	736560	828995
278	GABRIEL LOPEZ	2602507	Pacifico	Cauca	754990	768093
279	CABANA INDERENA	2603003	Pacifico	Cauca	686371	782986
280	TAMBO	2603005	Pacifico	Cauca	695618	768205

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
281	DINDE	2603007	Pacifico	Cauca	703091	792174
282	APTO. G. L. VALENCIA	2603503	Pacifico	Cauca	721582	760774
283	TORIBIO ALERTA	2604026	Pacifico	Cauca	758789	817883
284	RIO PALO	2604031	Pacifico	Cauca	743982	830824
285	ING. BENGALA	2604501	Pacifico	Cauca	740323	852966
286	SUAREZ	2605006	Pacifico	Cauca	710579	821676
287	EL SILENCIOSOS	2605027	Pacifico	Cauca	706901	834599
288	UNIV. DEL VALLE	2605507	Pacifico	Valle del Cauca	727382	867754
289	VILLA RICA	2606003	Pacifico	Cauca	734735	841912
290	CAJONES	2606020	Pacifico	Cauca	773683	849205
291	MIRANDA	2606502	Pacifico	Cauca	760711	851076
292	LA ZAPATA	2607011	Pacifico	Valle del Cauca	764479	878732
293	FLORIDA	2607076	Pacifico	Valle del Cauca	758882	862146
294	PALMIRA ICA	2607501	Pacifico	Valle del Cauca	751510	880607
295	VIJES	2608007	Pacifico	Valle del Cauca	738589	900929
296	SAN BARTOLOME	2608501	Pacifico	Valle del Cauca	727401	875133
297	EL VINCULO	2609523	Pacifico	Valle del Cauca	751593	913806
298	OBANDO	2610030	Pacifico	Valle del Cauca	788855	1000387
299	EL PLACER	2610069	Pacifico	Valle del Cauca	775694	921123
300	CEILAN	2610077	Pacifico	Valle del Cauca	786864	945070
301	LA ITALIA	2610079	Pacifico	Valle del Cauca	812771	937636
302	ING. RIOPAILA	2610511	Pacifico	Valle del Cauca	777666	969066
303	APTO. FARFAN	2610516	Pacifico	Valle del Cauca	762790	945131
304	BOLIVAR	2611004	Pacifico	Valle del Cauca	764717	972790
305	HIGUERON	2611006	Pacifico	Valle del Cauca	774009	985674
306	SAN ANTONIO	2611007	Pacifico	Valle del Cauca	779607	1002256
307	LA CAYETANA	2611011	Pacifico	Valle del Cauca	781448	998563
308	VILLA NUEVA	2611012	Pacifico	Valle del Cauca	781558	1037289
309	LA INMACULADA	2611015	Pacifico	Valle del Cauca	787065	1022520
310	CENT. ADMO LA UNION	2611504	Pacifico	Valle del Cauca	781432	993030
311	ALCALA	2612015	Pacifico	Valle del Cauca	809227	1007710
312	PIJAO	2612017	Andina	Quindío	820245	970809
313	APTO. EL EDEN	2612506	Andina	Quindío	812875	985575
314	SAN ISIDRO	2613018	Andina	Risaralda	803714	1022476

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
315	EL RECUERDO	2613020	Andina	Risaralda	814854	1039042
316	LA LAGUNA	2613514	Andina	Risaralda	851800	1020523
317	TAPARCAL	2614009	Andina	Risaralda	801974	1063047
318	MISTRATO	2614012	Andina	Risaralda	802011	1075955
319	BELLAVISTA	2614502	Andina	Caldas	807556	1075939
320	LA CAMELIA	2614503	Andina	Risaralda	801938	1050140
321	ARAUCA	2615006	Andina	Caldas	820447	1057466
322	PAPAYAL	2615015	Andina	Caldas	844441	1038974
323	APTO. LA NUBIA	2615511	Andina	Caldas	846309	1048188
324	NEIRA	2616010	Andina	Caldas	840795	1062949
325	LA CRISTALINA	2616012	Andina	Caldas	850045	1066616
326	LA MARIA	2616016	Andina	Caldas	833519	1110903
327	PUEBLORRICO	2617015	Andina	Antioquia	804030	1133113
328	CARAMANTA	2617018	Andina	Antioquia	826115	1105391
329	EL DIQUE	2617019	Andina	Antioquia	818809	1134912
330	SONSON	2618018	Andina	Antioquia	864947	1123735
331	AGUADAS	2618019	Andina	Caldas	848297	1110867
332	STA. BARBARA	2619010	Andina	Antioquia	798408	1107314
333	MESOPOTAMIA	2618502	Andina	Antioquia	861295	1142178
334	SAN FELIX	2618504	Andina	Caldas	855629	1085040
335	BETANIA-LAS GUACAS	2619009	Andina	Antioquia	789236	1127628
336	ITA ANDES	2619502	Andina	Antioquia	800289	1118372
337	OTRAMINA	2620012	Andina	Antioquia	809667	1164443
338	LA PLATA	2620507	Andina	Antioquia	807786	1153385
339	CAICEDO	2621007	Andina	Antioquia	789496	1201394
340	LA HERRADURA	2621008	Andina	Antioquia	802290	1166311
341	ANZA	2621009	Andina	Antioquia	804210	1188433
342	CRUZE ARRIBA	2623013	Andina	Antioquia	830245	1254728
343	EL CHUSCAL	2701077	Andina	Antioquia	820781	1177316
344	HATICO DE LOS INDIOS	2801020	Caribe	La Guajira	1103614	1693340
345	PAMPLONA	2801028	Caribe	La Guajira	1134695	1669479
346	SAN JUAN DEL CESAR	2801029	Caribe	La Guajira	1116411	1682319
347	ARAUQUITA	3705001	Orinoquia	Arauca	1292638	1270029
348	PTO NARIÑO	3802002	Orinoquia	Vichada	1692452	1040214

UBICACION DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS						
No	Estación	Código	Región	Dpto.	x	y
349	SAN IGNACIO	3212001	Orinoquia	Meta	1209087	854704
350	STA RITA	3306001	Orinoquia	Vichada	1631199	1030403
351	PTO TOLIMA	4208001	Amazónica	Vaupés	1463885	628187
352	PTO TOLOZA	4704003	Amazónica	Amazónica	990456	377186
353	TORO EL	3501006	Orinoquia	Meta	1053420	913498
354	CASUARITO	3801003	Orinoquia	Vichada	1713921	1122031
355	VILLANUEVA	3705005	Orinoquia	Arauca	1418131	1261656
356	MORRO EL	3521001	Orinoquia	Yopal	1178916	1096185
357	REVENTONERA	3509004	Orinoquia	Casanare	1114361	1029681
358	PTO ASIS	4701003	Amazónica	Putumayo	734343	548628
359	ISLA DEL MUERTO	3204002	Amazónica	Guaviare	1099839	756863
360	CARTAGENA D CHAIRA	4604001	Amazónica	Caquetá	916259	642580
361	CAMPO ALEGRE	3207001	Orinoquia	Meta	1036782	845298
362	POMPEYA	3502006	Orinoquia	Meta	1073765	939316

En el anexo 1 se presentan las series de precipitaciones máximas en 24 horas.

5.2.2. Fuentes secundarias

Se utilizarán documentos de investigación relacionados, de hidrología y artículos científicos relacionados con el tema de precipitaciones máximas en 24 horas.

También se utilizaron manuales de programas como hyfran y SIG (Arcview)

5.2.3. Tratamiento de la información

Los análisis que se realizaran en la presente investigación se relacionan a continuación:

- Se recopilaran los registros de precipitaciones máximas en 24 horas de estaciones colombianas (véase anexo 1).



- Se determinara la confiabilidad del número de estaciones seleccionadas con respecto al total de estaciones en el país (Colombia).
- Para cada estación de precipitaciones se determinara el test estadístico del chicuadrado a las funciones de probabilidad Gumbel, Gev, Log-pearson, Pearson, Normal, utilizando métodos de ajustes tales como son: máxima verosimilitud, momentos ponderados, momentos, Sam.
- Creación de mapas Colombia SIG- Arcview.
- Se seleccionó por región la distribución de probabilidad más representativa.

6. CASO DE ESTUDIO

6.1. OROGRAFIA DE COLOMBIA

El territorio colombiano está dividido en una región montañosa al occidente y una región plana al oriente.

La región montañosa la constituye la cordillera de los Andes que penetra en Colombia por el departamento de Nariño. En este punto se forma el Macizo de Los Pastos, donde se desprende un ramal hacia la izquierda (que recibe el nombre de **Cordillera Occidental**) y la derecha sigue hasta los departamentos de Cauca y Huila, en donde forma el Macizo Colombiano y se bifurca en las **Cordilleras Central y Oriental**. Estas tres cadenas montañosas, junto con la Sierra Nevada de Santa Marta y la Sierra de la Macarena, así como otras más pequeñas, definen las características topográficas del país.

Las tierras planas están ubicadas al este de la cordillera Oriental, al oeste de la cordillera Occidental, al norte del país, así como en los valles y altiplanos interandinos.¹⁶

6.2. CLIMATOLOGÍA Y PRECIPITACIONES EN COLOMBIANA

El Clima en Colombia es estudiado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales. El clima colombiano es característico de la zona ecuatorial, posee un clima tropical que mantiene una temperatura uniforme la mayor parte del año.

¹⁶TURISCOLOMBIA, Disponible en internet: <http://turiscolombia.com/colombia_geografia.html>

El clima de Colombia está determinado por los aspectos geográficos y atmosféricos que incluye: precipitaciones, intensidad radiación solar, temperatura, sistemas de vientos, altitud, continentalidad y humedad atmosférica. Estos factores desarrollan un amplio mosaico de climas y microclimas en Colombia que van desde los más calurosos a 30 °C en las costas y llanuras hasta lo más frío, temperaturas bajo 0 °C en los picos de las montañas de la Cordillera de los Andes y la Sierra Nevada de Santa Marta.

El sistema montañoso Andino presenta la mayor variedad de clima determinado por la altitud y sus pisos térmicos clasificados en clima cálido (alturas inferior a 1.000 msnm, temperatura superior a 24 °C, cubre el 80% de la extensión del país), templado (entre 1.000 y 2.000 msnm, temperatura entre 17 y 24 °C, corresponde al 10% del país) frío (de 2.000 a 3.000 msnm, temperaturas entre 12 y 17 °C, cubre el 8%), páramo (tierras a más de 3.000 msnm con temperaturas inferiores a 12 °C) y nieves perpétuas. En general, la zona habitada del país tiene un clima cálido y en menor proporción templado en las ciudades a más de 200 metros de altitud, Bogotá es una de las ciudades más altas(2,600 msnm) y presenta un clima frío atípico de su latitud ecuatorial.

La donde los vientos cálidos y húmedos de las latitudes del norte y sur chocan forman una cadena de nubes variando durante el otoño del Hemisferio Norte, y su posición más al sur (latitud 1° N) durante el mes de abril producen en Colombia efectos de viento y humedad produciendo dos periodos de nevadas intensas, llamado Invierno y otros dos de sequía o lluvias esporádicas, llamado Verano.

6.2.1. TIPOS DE CLIMA

Se presentan climas de tipo sabana, caracterizado por una estación seca y una lluviosa, con vegetación de pastos, en la Orinoquía, Bolívar, norte de Huila y centro del Valle del Cauca. Clima súper húmedo de selva, con abundante precipitación, poca variación de la temperatura y una vegetación selvática exuberante en la región del Pacífico colombiano, Amazonas y cuencas de los ríos Magdalena y Catatumbo. Clima húmedo lluvioso con menores precipitaciones, alta variación de temperaturas y una vegetación de bosque de baja densidad, característico del Caquetá, Vaupés, parte de Antioquia y Córdoba. Y Clima desértico: de altas temperaturas y lluvias escasas, con poca vegetación, se presenta en La Guajira, desierto de la Tatacoa y en el desierto de la Candelaria en Boyacá. El clima predominante en el país es cálido y húmedo.

Los principales tipos de clima predominantes en Colombia y su ubicación en las llamadas zonas climáticas, son los siguientes:

6.2.1.1 SELVA TROPICAL HÚMEDA Y LLUVIOSA

Es este uno de los climas más rigurosos, no sólo del país, sino también de la Tierra, pues en él se dan los extremos tanto de temperatura, siempre por encima de 27°C, como de humedad, traducida en permanentes y abundantes lluvias.

Las selvas chocoanas del Catatumbo y las de la cuenca Amazónica; la región central del Magdalena, la Costa Pacífica, la vertiente oriental de la cordillera Oriental en su borde exterior, la serranía de Perijá y las estribaciones de las cordilleras Occidental y Central donde comienza la llanura del Caribe poseen este clima inhóspito.

6.2.1.2 CLIMA TROPICAL DE SABANA, SEMI-HUMEDO

De temperaturas siempre por encima de los 24°C con una fluctuación hasta los 27°C. Su lluviosidad es sin embargo inferior a la que caracteriza a la zona antes descrita, pues posee una época de lluvias y una de sequía, las cuales se distribuyen en periodos de seis meses.

La mitad seca del año corresponde al paso de los vientos alisios del noreste. En Colombia podemos ubicar a los Llanos Orientales, buena parte de la llanura del Caribe (zonas costeras), el final de las estribaciones de la cordillera Occidental (en el norte) y extensas porciones de los valles de los ríos Cauca y Magdalena, en especial en su curso medio y bajo.

6.2.1.3 CLIMA TROPICAL DE ESTEPA

Las altas temperaturas, la escasa vegetación representada en pastos poco desarrollados y las precipitaciones mínimas, son las características sobresalientes del clima tropical de estepa. Participa del clima desértico durante los 5 meses de sequía.

Este clima corresponde a parte de las sabanas de Bolívar y del norte de La Guajira, a la parte central del llano (ríos Meta y Guaviare) y a las partes altas de las cordilleras, bordeadas de montañas que impiden el paso de los vientos húmedos y también a regiones bajas en los cañones montañosos.

6.2.1.4 CLIMA TROPICAL DE DESIERTO

Este es el clima de la alta Guajira, caracterizado por sus elevadas temperaturas, escasas precipitaciones de sólo 802 mm anuales en promedio debido al relieve llano. Es la región menos lluviosa de Colombia (durante más de 7 meses al año no llueve). Esto se debe especialmente a su ubicación de frente a los vientos alisios del noreste (a barlovento), los cuales al absorber la humedad ambiental y no encontrar a su paso barreras montañosas dónde depositarla, resecan la tierra. Las temperaturas sobrepasan los 29 °C.¹⁷

¹⁷WIKIPEDIA, Recuperado el 29 de septiembre de 2011. Disponible en internet:<http://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Colombia>

7. REGIONALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES

En este capítulo se presenta la metodología empleada para determinar la función de distribución de probabilidad que debe emplearse en cada región de Colombia para estimar las precipitaciones máximas en 24 horas asociadas a diferentes periodos de retorno en Colombia.

La sectorización propuesta se realizó considerando lo empleado por Vélez (1983), la cual contempla dividir al país por regiones, Andina, Caribe, Pacífica, Orinoquia y Amazónica.

Teniendo en cuenta la sectorización propuesta se realizarán análisis independientes con estaciones que pertenezcan a la misma zona geográfica, las cuales presentan condiciones meteorológicas regidas por fenómenos similares.

El procedimiento que se aplicó consistió en realizar lo siguiente:

- Se seleccionaron las estaciones de precipitación distribuidas uniformemente a lo largo de Colombia.
- Se determinó el porcentaje de confiabilidad de las estaciones utilizadas.
- Se estimaron los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad en cada una de las estaciones seleccionadas.
- Se seleccionó la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a la tendencia de los datos por región. Para lo anterior se aplica la prueba estadística Chi-cuadrado y se implementaron los sistemas de información geográfica (SIG).
- Con base en la función de probabilidad encontrada para cada región, se realizaron análisis estadístico para determinar las precipitaciones máximas a los diferentes periodos de retorno en Colombia.

En la figura 10 se presentan las estaciones utilizadas para el análisis.

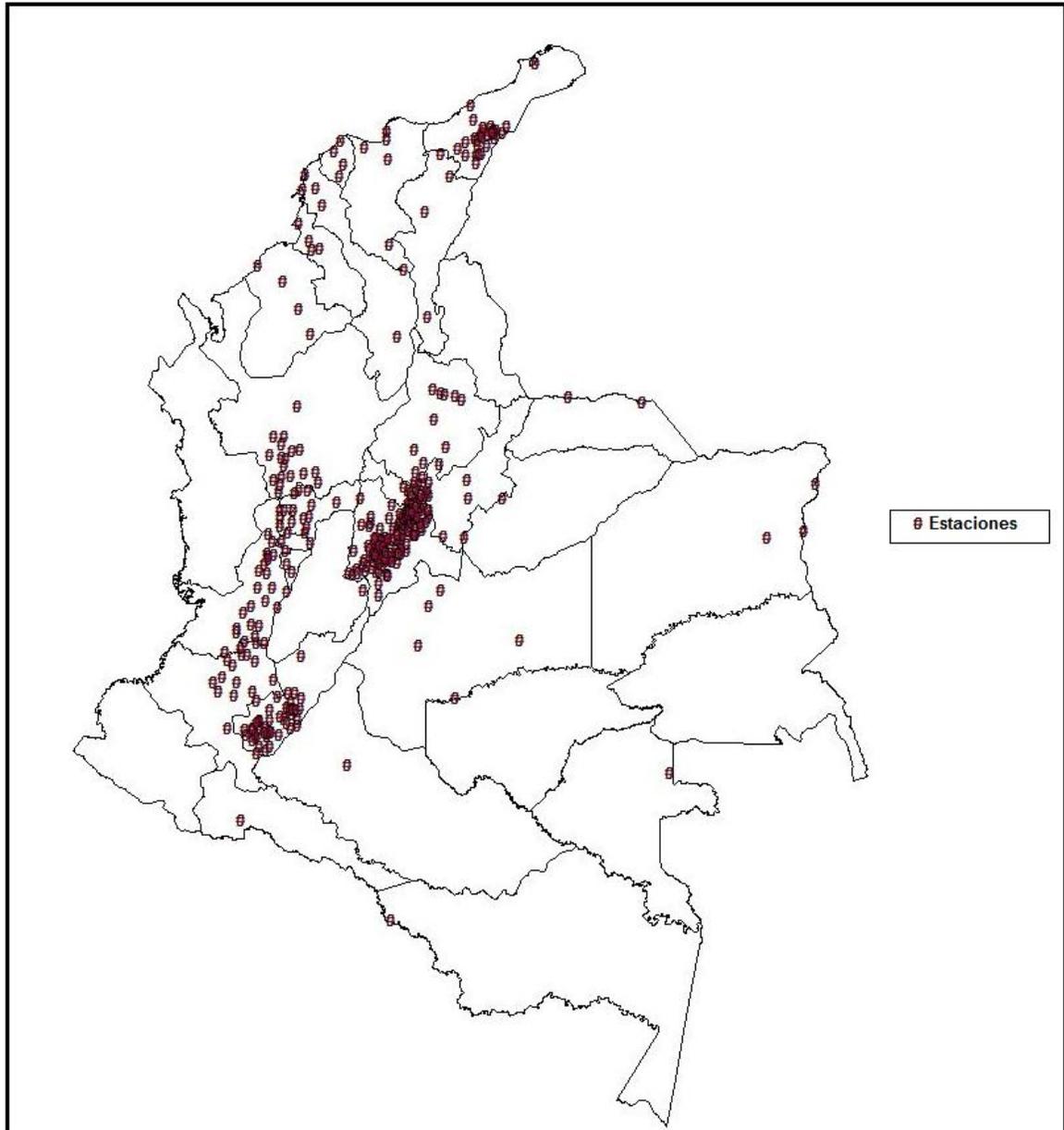


Figura 10. Estaciones utilizadas

De la figura 11 a 15 se presentan distribuidas las estaciones utilizadas por cada región, la enmarcación de las estaciones corresponden a la presentada en el cuadro 6.

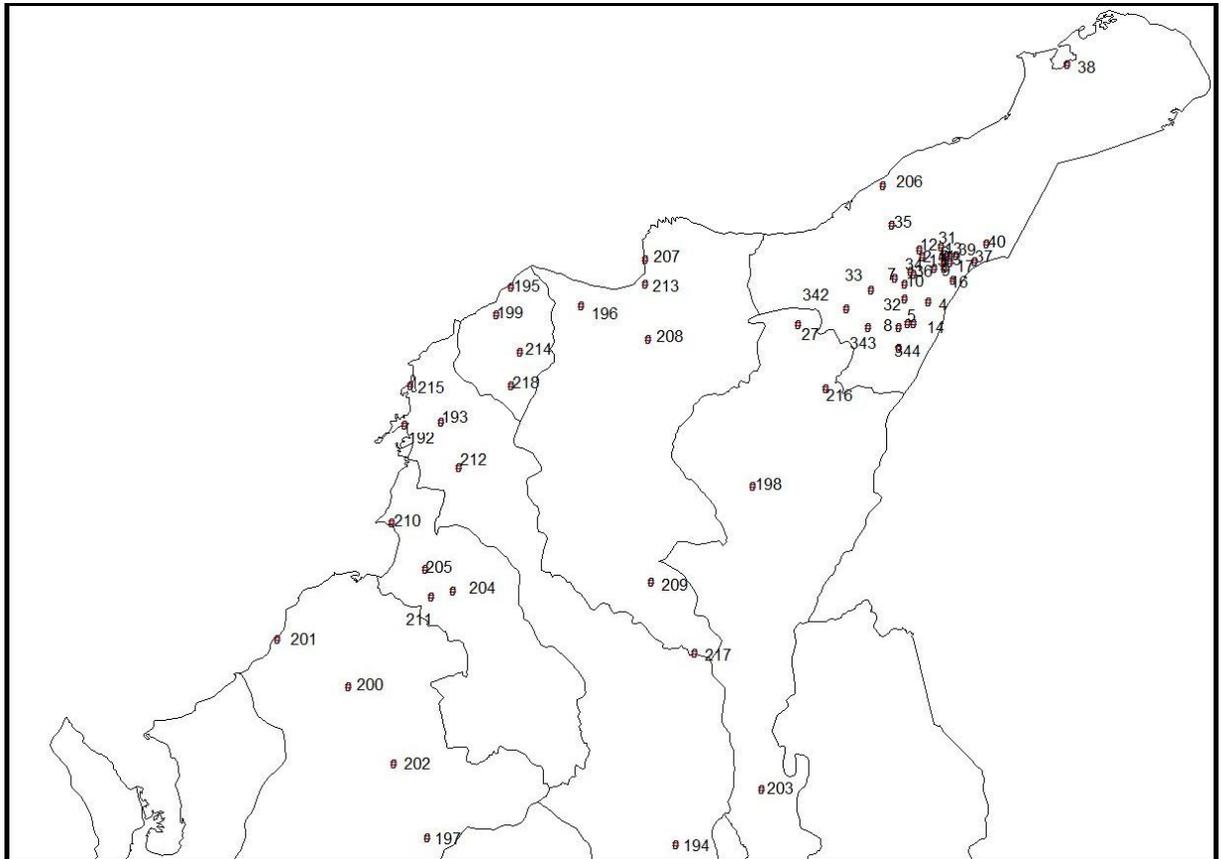


Figura 11. Estaciones utilizadas en región Caribe



Figura 14. Estaciones utilizadas en región Orinoquia

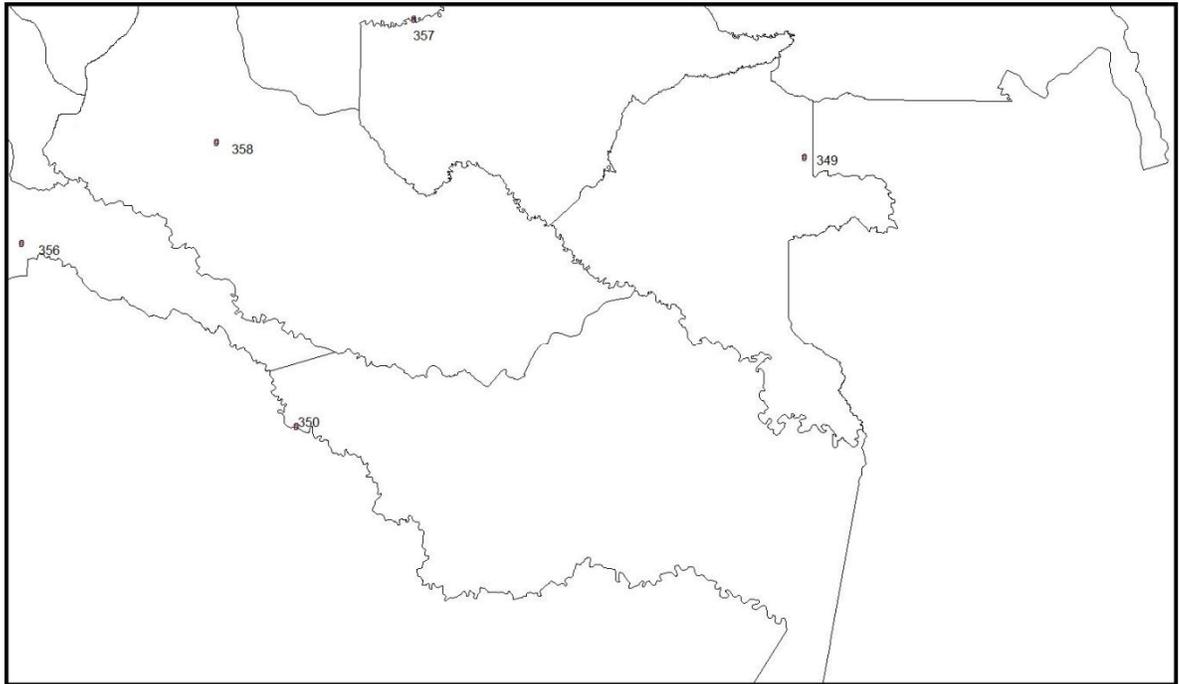


Figura 15. Estaciones utilizadas en región Amazónica

7.1. Estaciones de precipitación utilizadas

Para realizar los análisis se utilizaron los registro de precipitación de 362 estaciones operadas por el IDEAM y la CAR (véase anexo 3). La distribución especial de estas estaciones en Colombia se presenta en las figuras 11 a la 15.

Teniendo en cuenta que los análisis se realizaron con base en las regiones de Colombia, se procedió a determinar el número de estaciones por región; en el cuadro 7 y en la Figura 16 se presenta el porcentaje de estaciones por región.

Regiones	Número de Estación
Andina	250
Caribe	59
Pacífico	37
Orinoquía	11
Amazónica	5
Total general	362

Cuadro 7. Número de estaciones por región

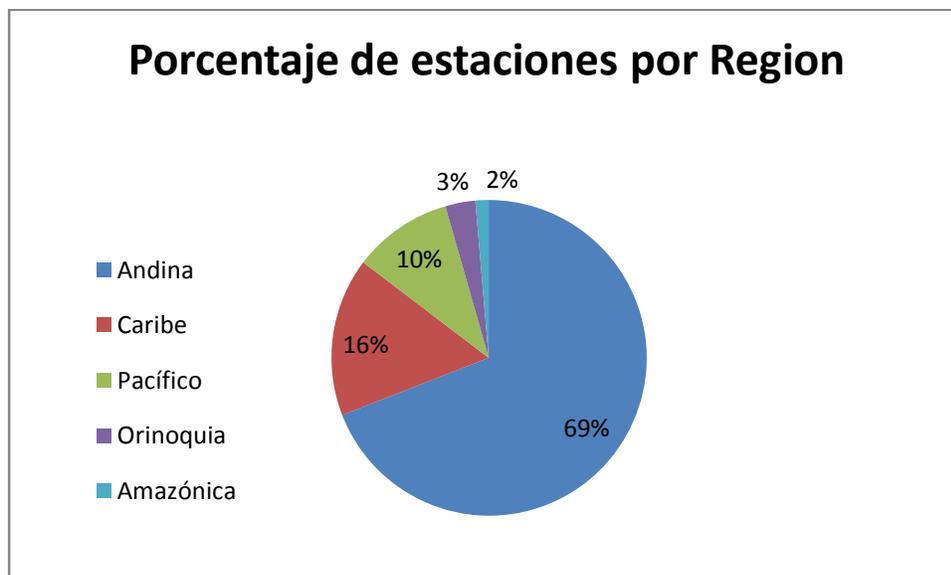


Figura 16. Porcentaje de estaciones por región

Con base en los resultados de la figura anterior, se deduce lo siguiente: en la región Andina se tiene el 69% de las estaciones recopiladas; en la región Caribe, se tiene el 16%; la región Pacífica se tiene 10%; y en las regiones Orinoquia y Amazónica se tiene 3% y 2%, respectivamente.

Es importante tener en cuenta que las regiones que tienen el menor porcentaje de estaciones utilizadas en el presente estudio, son las que presentan el menor número de estaciones instaladas.

7.2. Confiabilidad del número de estaciones seleccionadas

En este ítem se analizó si el número de estaciones de precipitación utilizadas son representativas del total de estaciones instaladas en Colombia.

Para lo anterior, se utilizó la ecuación propuesta por la norma NTP 283, para una población finita. La ecuación utilizada se relaciona a continuación.

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{N \cdot e^2 - z^2 \cdot p \cdot q}$$

n = número de estaciones utilizadas de Colombia, 362 estaciones.

N = número de estaciones totales en Colombia, Se utilizo el número de estaciones del IDEAM y de la CAR, 5236 estaciones

z = Probabilidad de ocurrencia

q = probabilidad de no ocurrencia, para este análisis se asumió $p=q=0,5$ por ser la condición más crítica.

e = Intervalo de confianza del 1,96

e = Nivel de confiabilidad del 5%

e = Error en la estimación

Al aplicar la ecuación anterior, se obtuvo con base en lo anterior, un porcentaje de confiabilidad del 95% en la estimación de distribución de probabilidad que debe aplicarse en Colombia.

7.3. Estimación de parámetros de distribución de probabilidad.

Con el fin de estimar los parámetros de las distribuciones de probabilidad de Gumbel, Log Pearson III, Normal, Pearson III y GEV se utilizó el programa Hyfran, el cual permite la estimación de dichos parámetros empleado los métodos de ajuste de máxima verosimilitud, momento, momentos ponderados y SAM. En el anexo 4 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las estaciones de precipitación analizadas.

7.4. Selección de la distribución de probabilidad

Para seleccionar la distribución de probabilidad en cada región de Colombia se realizaron los siguientes análisis:

- i. Test . Chi Cuadrado
- ii. Implementación del SIG.

A continuación se detalla los pasos realizados.

7.4.1. Test Chi-cuadrado

La prueba estadística Chi-Cuadrado se utilizó para seleccionar en cada estación la función de distribución de probabilidad hidrológica que mejor se ajustaba a la tendencia de los datos. En el Anexo 4 se presentan los resultados de esta prueba estadística por estación de precipitación.

Con base en los resultados del anexo 4, se obtuvieron los promedios por regiones de las pruebas estadísticas Chi-Cuadrado. En el cuadro 8 se presentan los valores obtenidos.

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE - PRUEBA X ²								
REGIONES	Gumbel - Max. Verosimilitud	Gumbel - Momentos Ponderados	Log - Pearson III- Metodo SAM	Pearson III - Max. Verosimilitud	Pearson III - Metodo Momentos	Normal - Max. Verosimilitud	GEV - Max. Verosimilitud	GEV - Momentos Ponderados
Andina	5.85	5.63	6.4	45.01	7.09	8.04	5.11	4.6
Caribe	7.72	5.64	16.81	91.57	6.34	7.41	5.41	5.18
Pacífico	9.85	8.89	9.06	48.21	8.16	9.87	8.13	7.52
Orinoquía	13.91	8.09	33.49	102.05	7.35	9.24	8.89	6.31
Amazónica	6.64	6.32	87.14	183	4.93	6.7	4.37	4.36
Promedio	8.794	6.914	30.58	93.968	6.774	8.252	6.382	5.594

Cuadro 8. Aplicación de la Prueba Chi Cuadrado (X^2)

Con base en los resultados del cuadro 8 se deduce lo siguiente.

- En todas las regiones de Colombia se obtuvieron los mejores ajustes de la prueba Chi-cuadrado con la función de distribución GEV; el método que ajusta mejor los parámetros para dicha función es el de momento ponderado con un valor promedio de 5,594. No obstante existen otras distribuciones de probabilidades que ajustaron muy cerca a la tendencia de los datos de Gumbel y Pearson.
- En Colombia se obtuvieron los ajustes más desfavorables con la prueba Chi-Cuadrado se presentaron al emplear la distribuciones Pearson III máxima verosimilitud con un valor promedio de (93.968), seguida de la Log Pearson III método SAM con (30.58), respectivamente

- Las funciones de distribución en las cuales se presentan valores promedio con la prueba Chi-Cuadrado son Gumbel Max. Verosimilitud (8.794), Gumbel Momentos Ponderados (6.914), Normal Max. Verosimilitud (8.252), Gev Max. Verosimilitud (6.382) y Pearson III Momentos (6.774), respectivamente.
- En la región Amazónica se obtuvo el mejor ajuste de Chi-Cuadrado con la función Gev momentos ponderados (4,36). Posiblemente este valor obtenido se debe a que se utilizaron pocas estaciones en los análisis.
- En las regiones Andina y Caribe se obtuvieron ajustes adecuados de la prueba Chi-Cuadrado con la función de distribución Gev Momentos Ponderados con valores de 4.6 y 5.18 respectivamente. Es importante mencionar que en estas regiones se contó con el mayor número de estaciones, lo cual garantizan los resultados obtenidos.
- En las regiones Amazona, Pacífica y Orinoquía con la función de distribución de Pearson III Max. Verosimilitud se obtuvieron valores muy elevados debido a las pocas estaciones utilizadas en los análisis mira anexos (registros del IDEAM).
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la prueba Chi-Cuadrado se recomienda utilizar la función de distribución de probabilidad Gev con el método de ajuste Momentos Ponderados.

7.5. Implementación de SIG, aplicando la prueba de Chi-Cuadrado

En este ítem se implementa la utilización del SIG, con el fin de representar gráficamente para las estaciones de precipitación analizadas. Los resultados obtenidos para la prueba de Chi-Cuadrado de cada distribución de probabilidad.

Teniendo en cuenta la sectorización propuesta anteriormente, Esta metodología nos ayudara a observar el comportamiento espacial de la prueba Chi-Cuadrado.

El procedimiento que se aplicó consistió en realizar lo siguiente:

- Se seleccionaron las estaciones distribuidas a lo largo de Colombia.
- Se escogieron los valores de ajuste Chi-Cuadrado obtenidos.
- Se estimaron los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad en cada una de las estaciones seleccionadas.
- Posteriormente a través del Software ArcGIS se graficara los valores obtenidos del ajuste Chi-Cuadrado de cada función de probabilidad para las estaciones analizadas.

En las figuras 17 a 24. Se presentan distribuidas las estaciones de precipitaciones analizadas en todo el país.

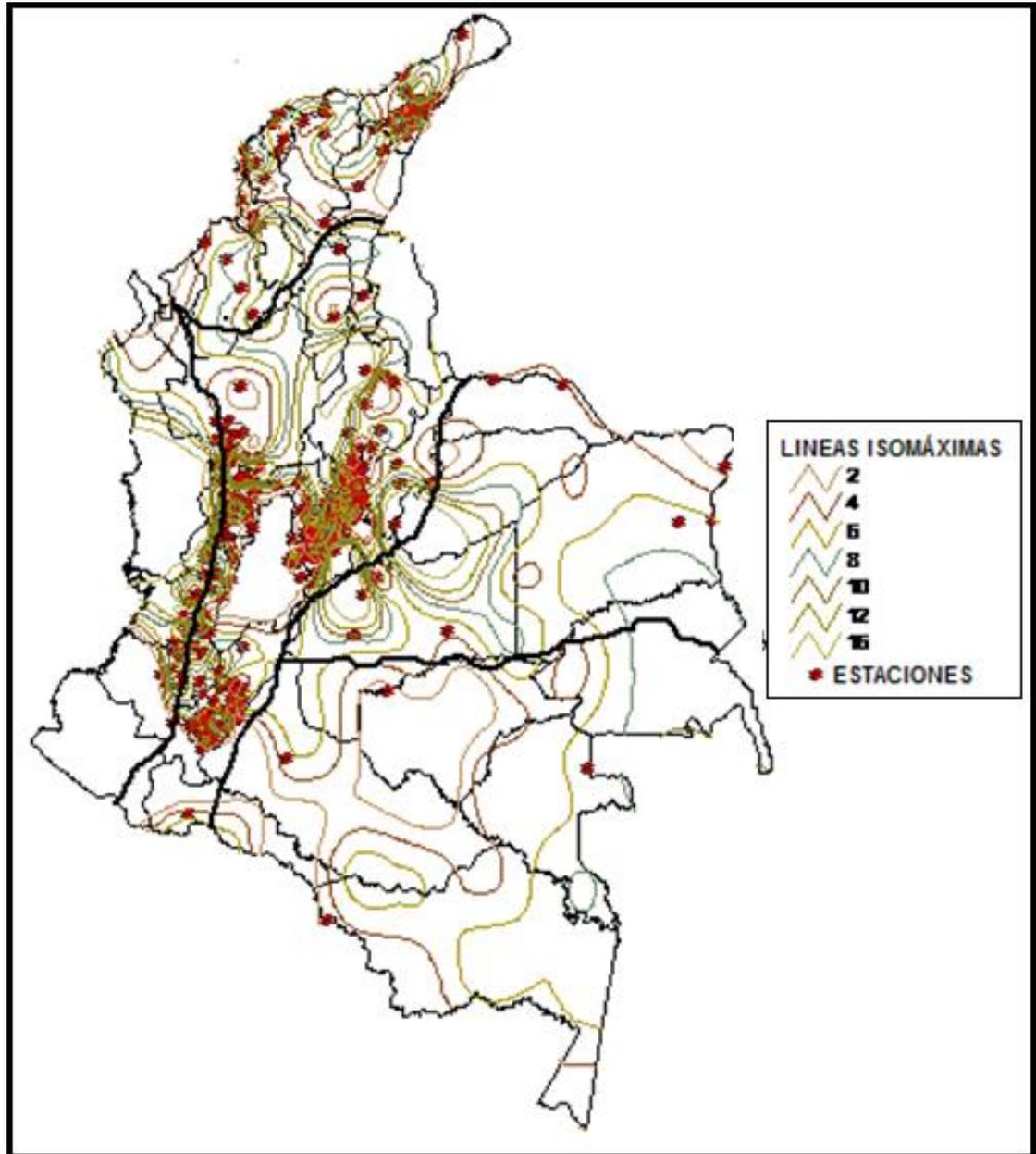


Figura 17. Estaciones Con La Distribución Gev Máxima Verosimilitud, aplicando los valores del Chi-cuadrado.

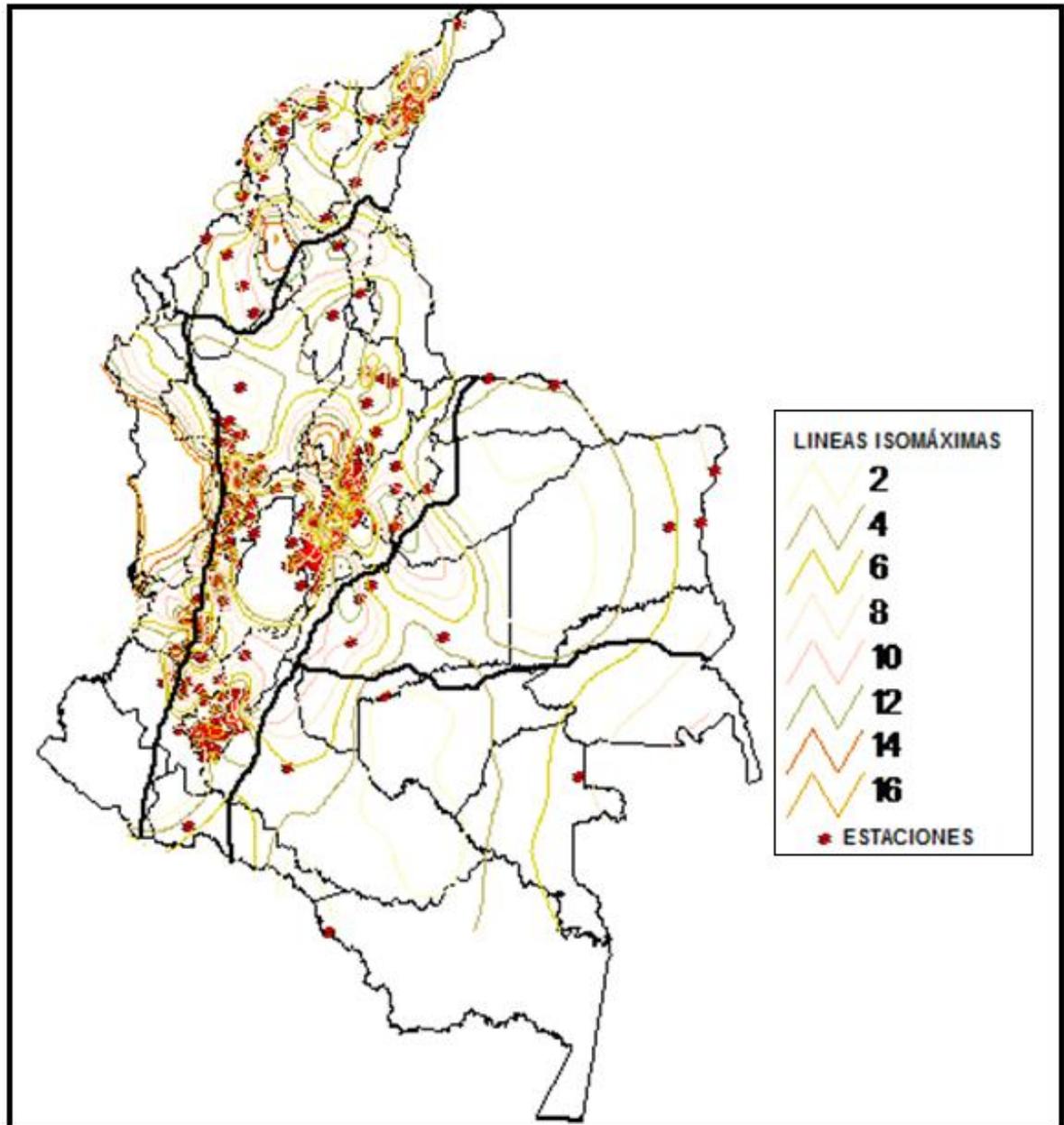


Figura 18. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando los valores del Chi- cuadrado

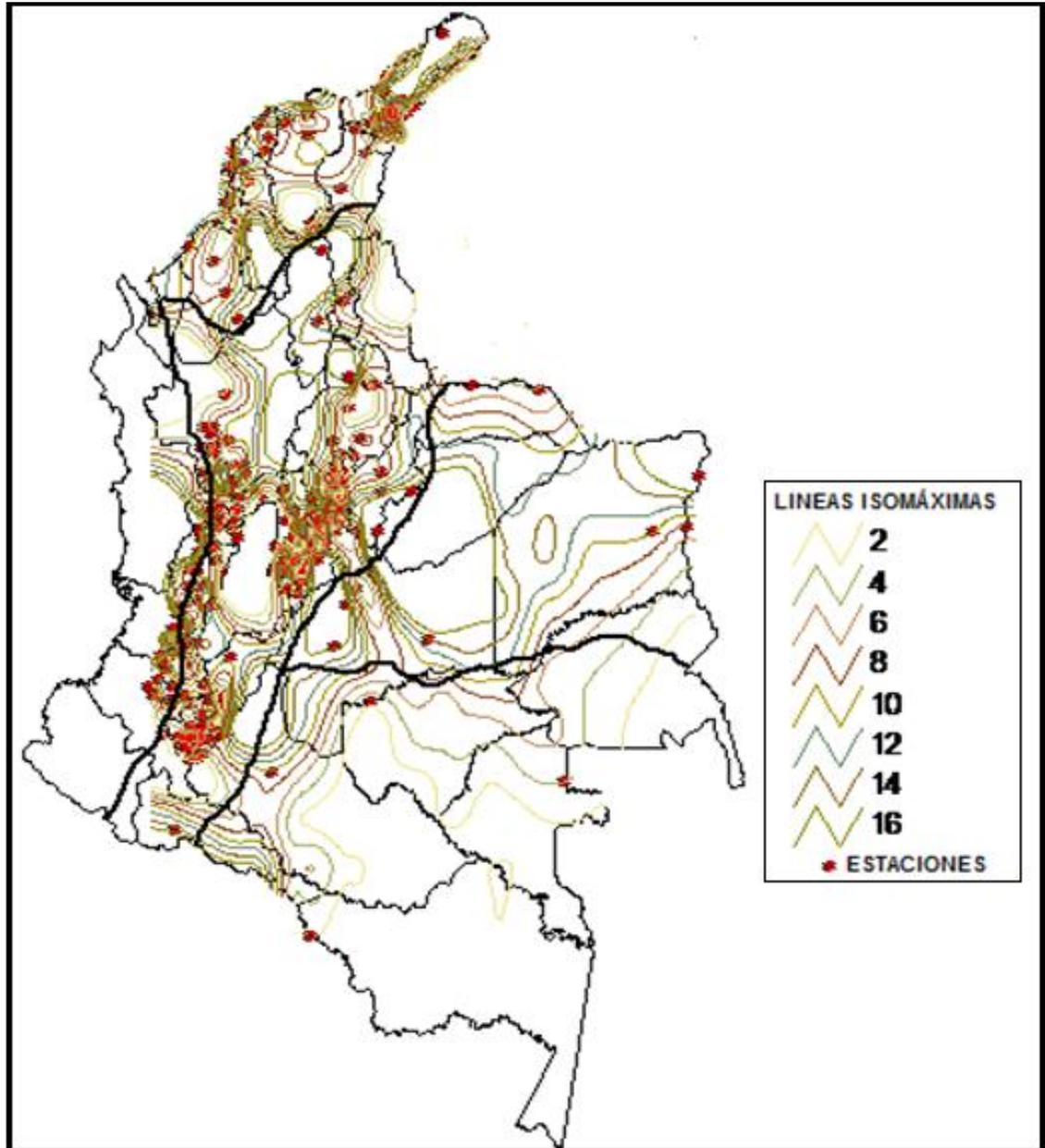


Figura 19. Estaciones Con La Distribución Gumbel Máxima verosimilitud, aplicando los valores del Chi- cuadrado

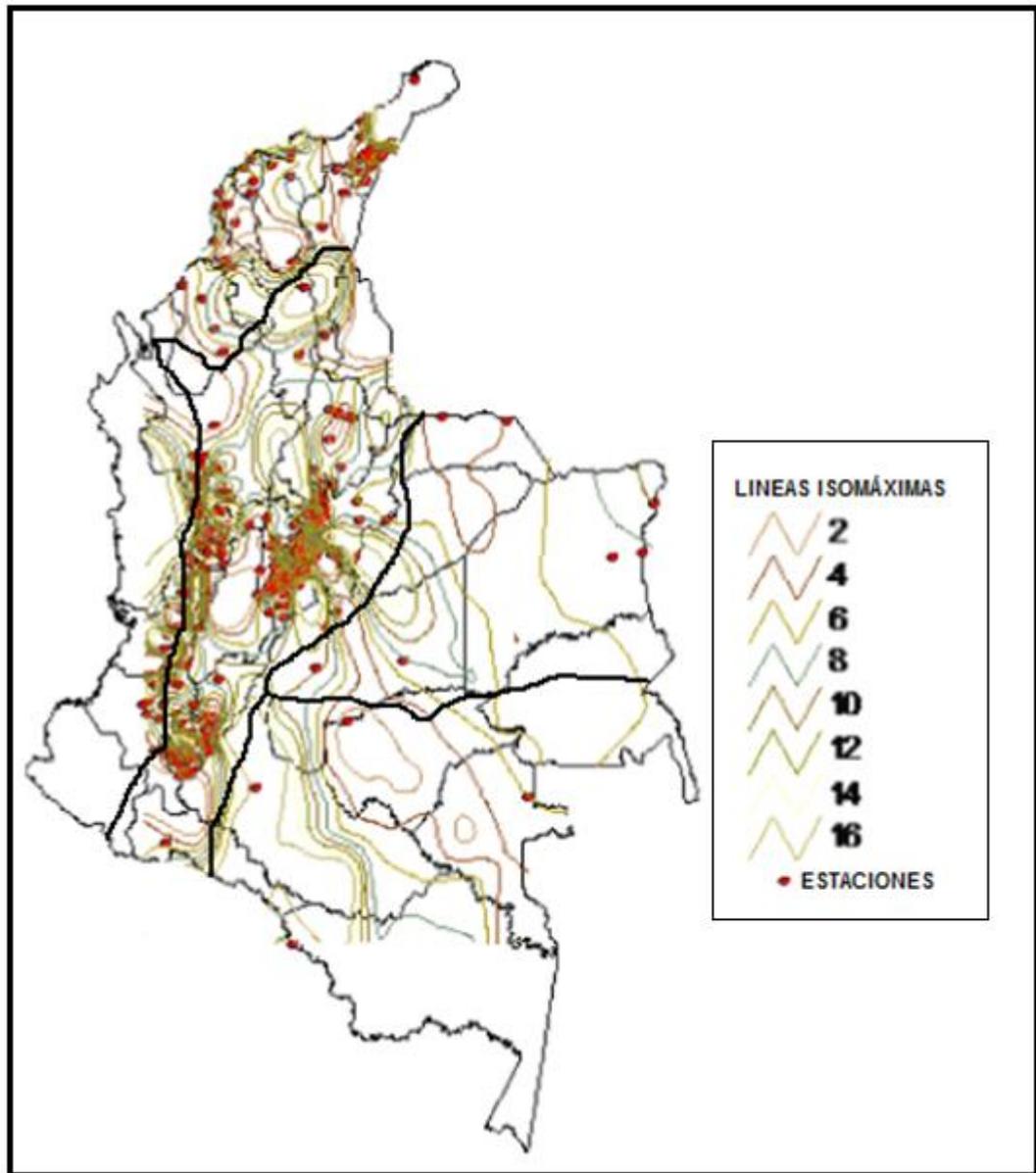


Figura 20. Estaciones Con La Distribución Gumbel Momento Ponderado, aplicando los valores del Chi- cuadrado

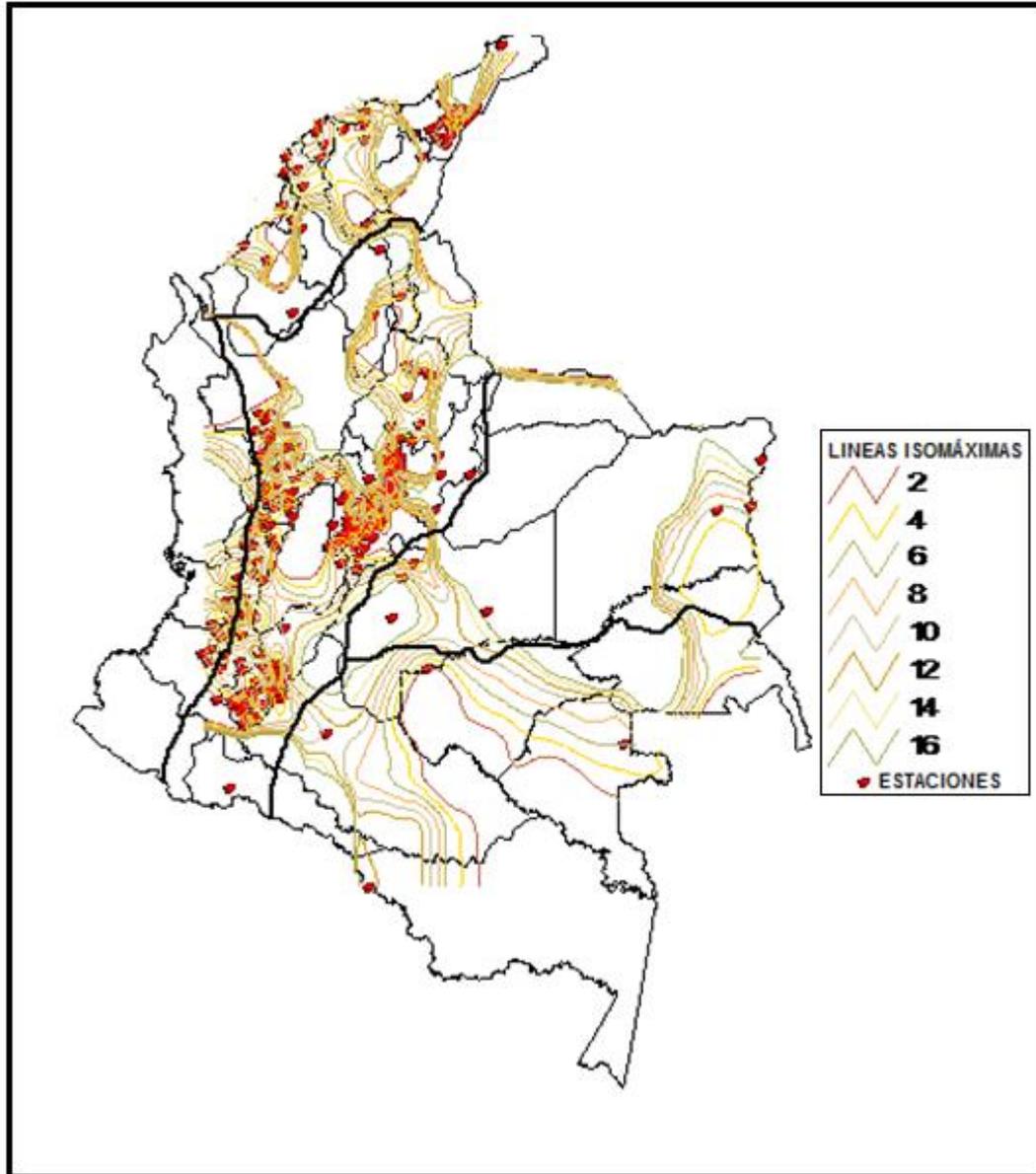


Figura 21. Estaciones Con La Distribución Log- Pearson Método SAM, aplicando los valores del Chi- cuadrado

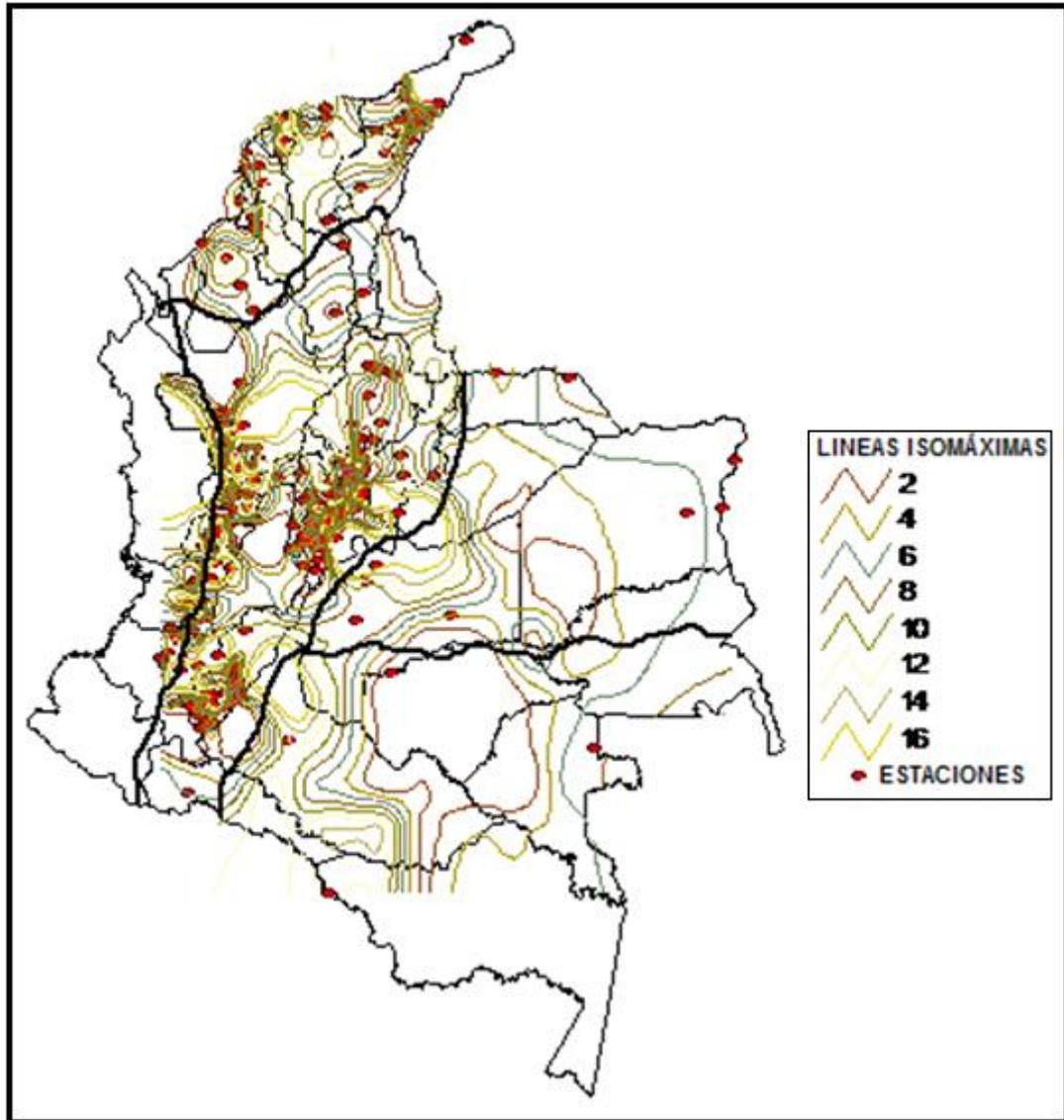


Figura 22. Estaciones Con La Distribución Normal Máxima Verosimilitud, aplicando los valores del Chi- cuadrado

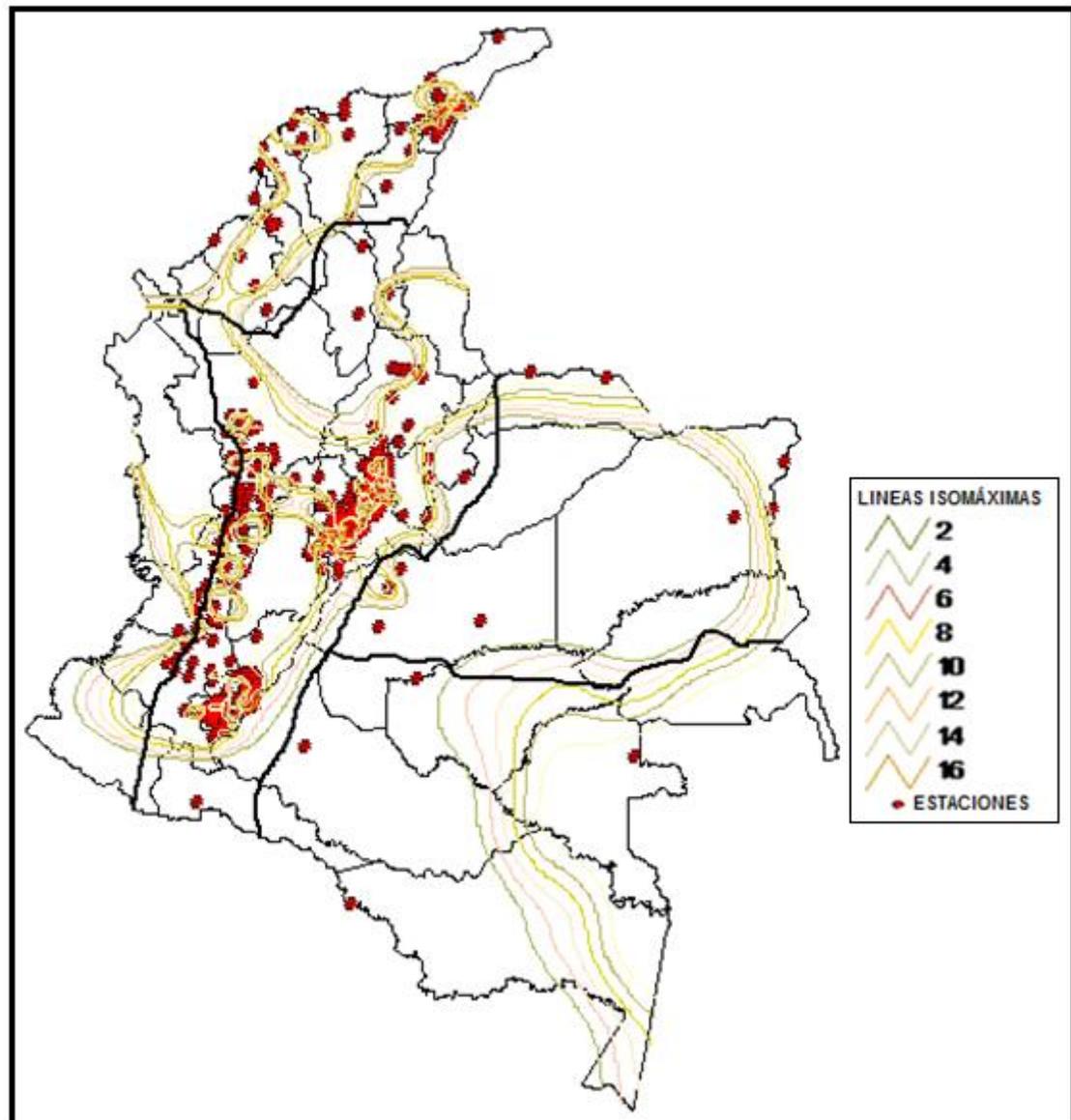


Figura 23. Estaciones Con La Distribución Pearson III Máxima Verosimilitud, aplicando los valores del Chi- cuadrado

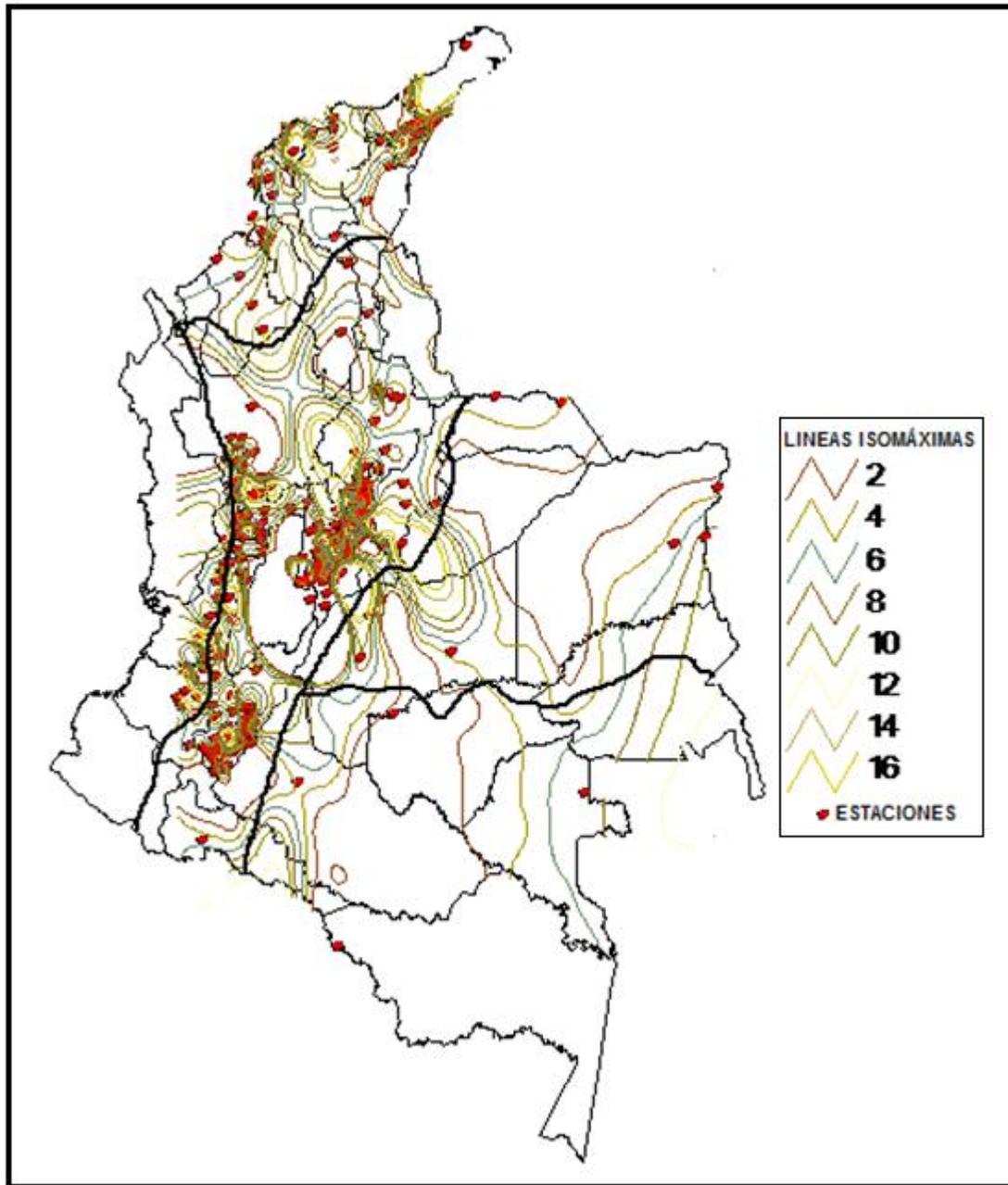


Figura 24. Estaciones Con La Distribución Pearson III Método Momentos, aplicando los valores del Chi- cuadrado

Comentarios mapas Chi-Cuadrado:

En cada uno de estos mapas se presentan todas las estaciones estudiadas en Colombia donde con el programa SIG se realizaron isomaxima con respecto a los diferentes Chi-Cuadrados de cada región analizada anteriormente, se encontró uniformidad en 2 de las anteriores graficas ejemplo Gev de momentos ponderados y Pearson métodos Sam donde no se encontraron tantos ojos o vacios y las líneas van en una dirección determinada.

7.5.1 Selección de la distribución de probabilidad

Para cada una de las regiones se seleccionó la función de distribución de probabilidad que mejor se ajustara, la cual fue la distribución de probabilidad GEV en todas las regiones de Colombia, esto se da después de una investigación donde se buscó por métodos estadísticos los mejores Chi-Cuadrado por región.

7.6 Implementación de SIG, aplicando valores diferentes de tiempo de retorno

En este ítem se implementa la utilización del SIG, con el fin de representar gráficamente para las estaciones de precipitación analizadas cada función de distribución probabilística, teniendo en cuenta los resultados obtenidos para cada tiempo de retorno.

Teniendo en cuenta la sectorización propuesta anteriormente, Esta metodología nos ayudara a mirar el comportamiento de las funciones de distribuciones probabilística.

El procedimiento que se aplicó consistió en realizar lo siguiente:

- Se seleccionaron las estaciones distribuidas a lo largo de Colombia.
- Se escogieron los valores obtenidos de los diferentes tiempos de retorno.
- Se estimaron los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad en cada una de las estaciones seleccionadas.
- Posteriormente a través del Software ArcGIS se simularon para las estaciones analizadas los valores obtenidos de los diferentes tiempos de retorno.

En las siguientes figuras de la 25 a 30. Se presentan gráficamente distribuidas las estaciones de precipitaciones analizadas en todo el país, utilizando esquemas independientes para cada uno de las funciones de distribución de probabilidad teniendo en cuenta los valores obtenido para los diferentes tiempos de retorno.

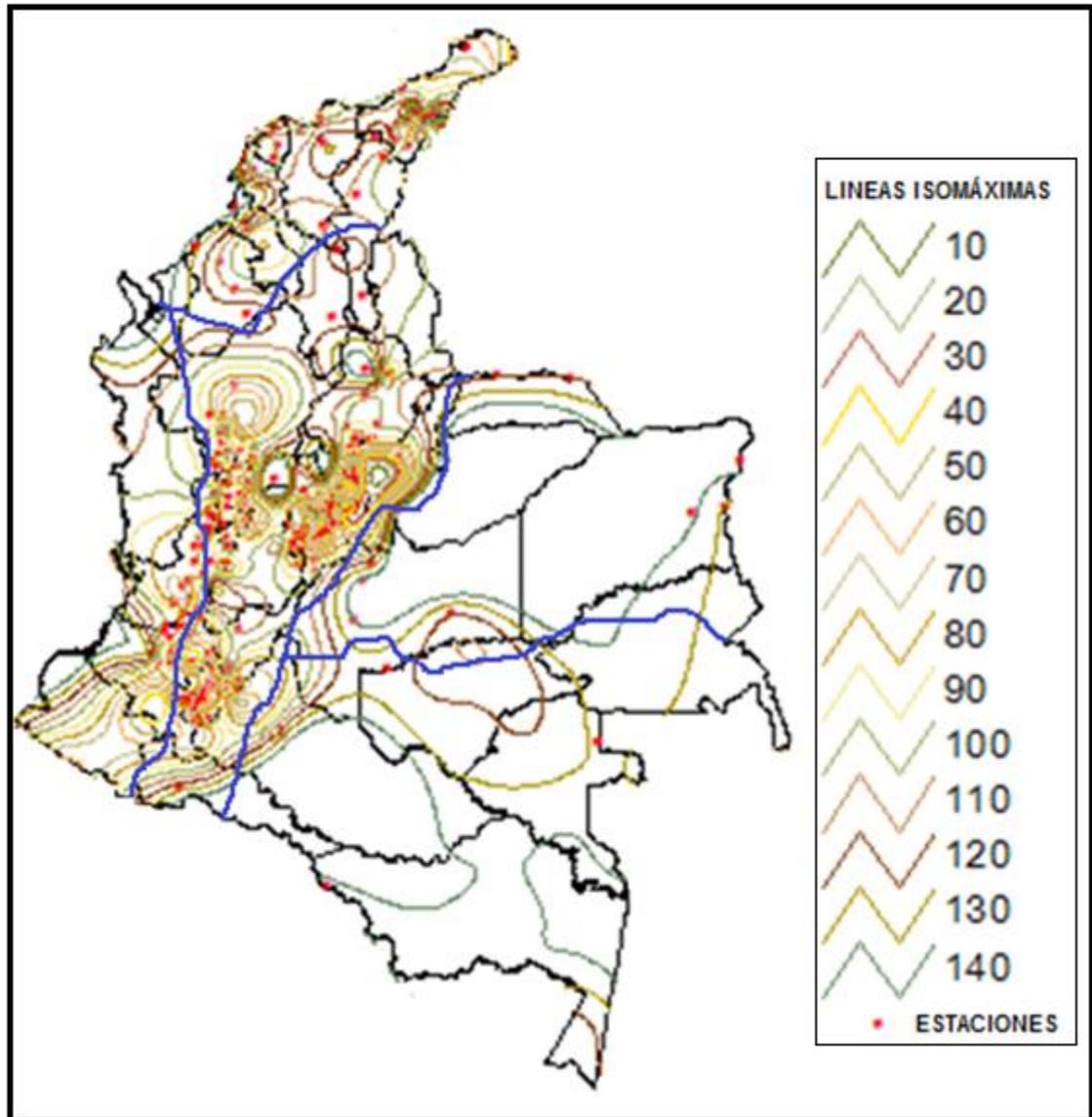


Figura 25. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 5

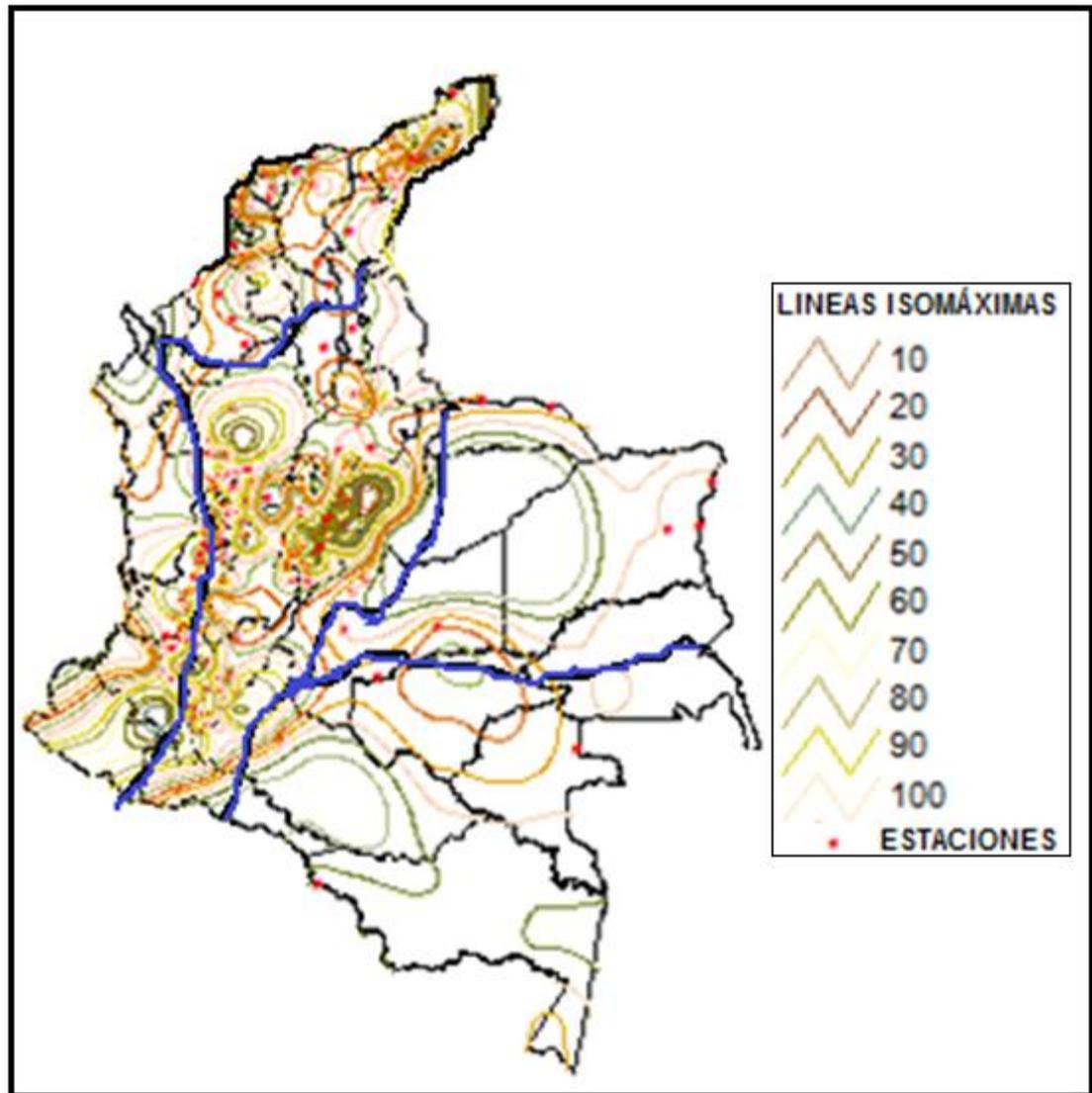


Figura 26. Estaciones Con La Distribución G_{ev} Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 10

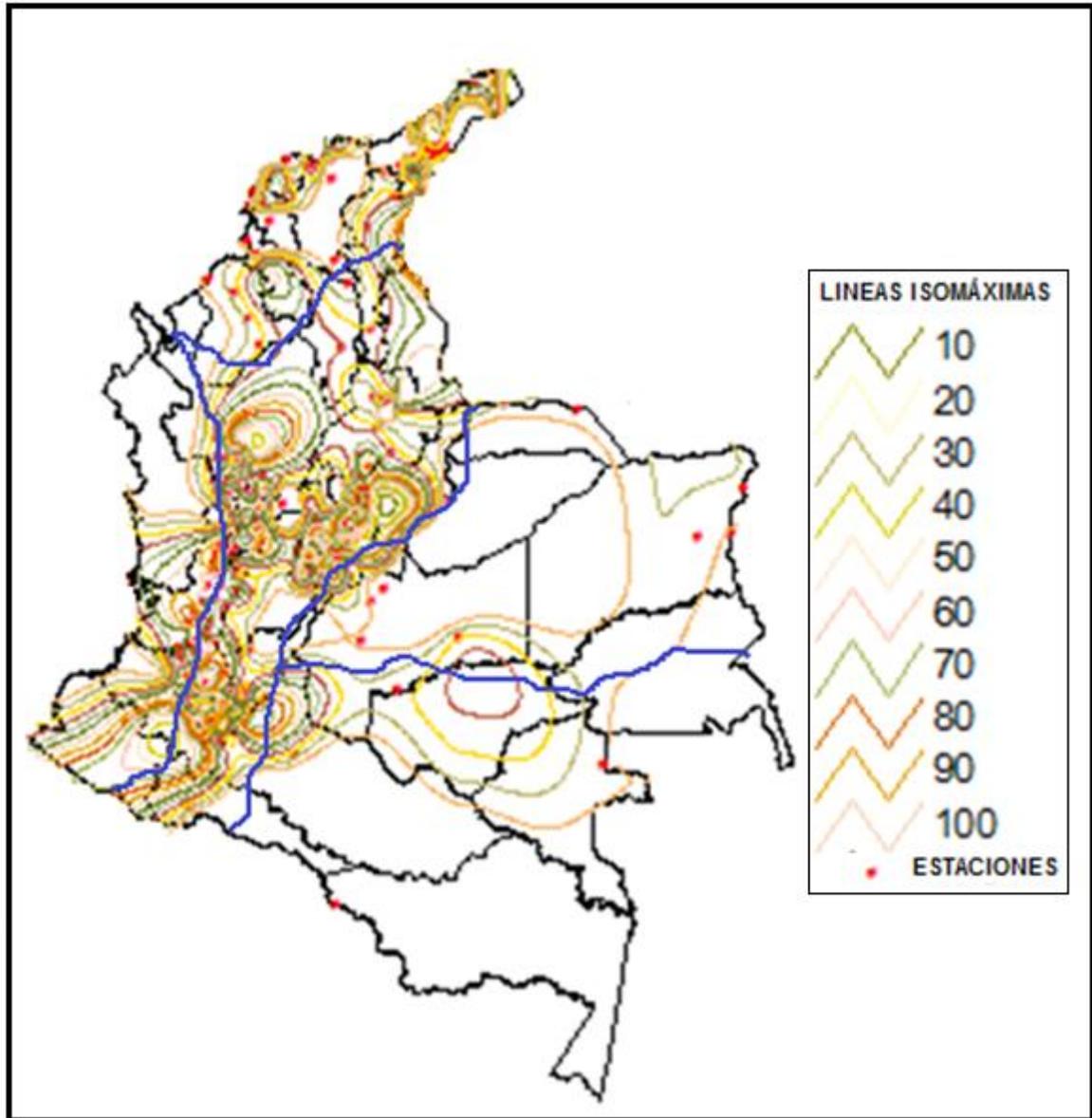


Figura 27. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 25

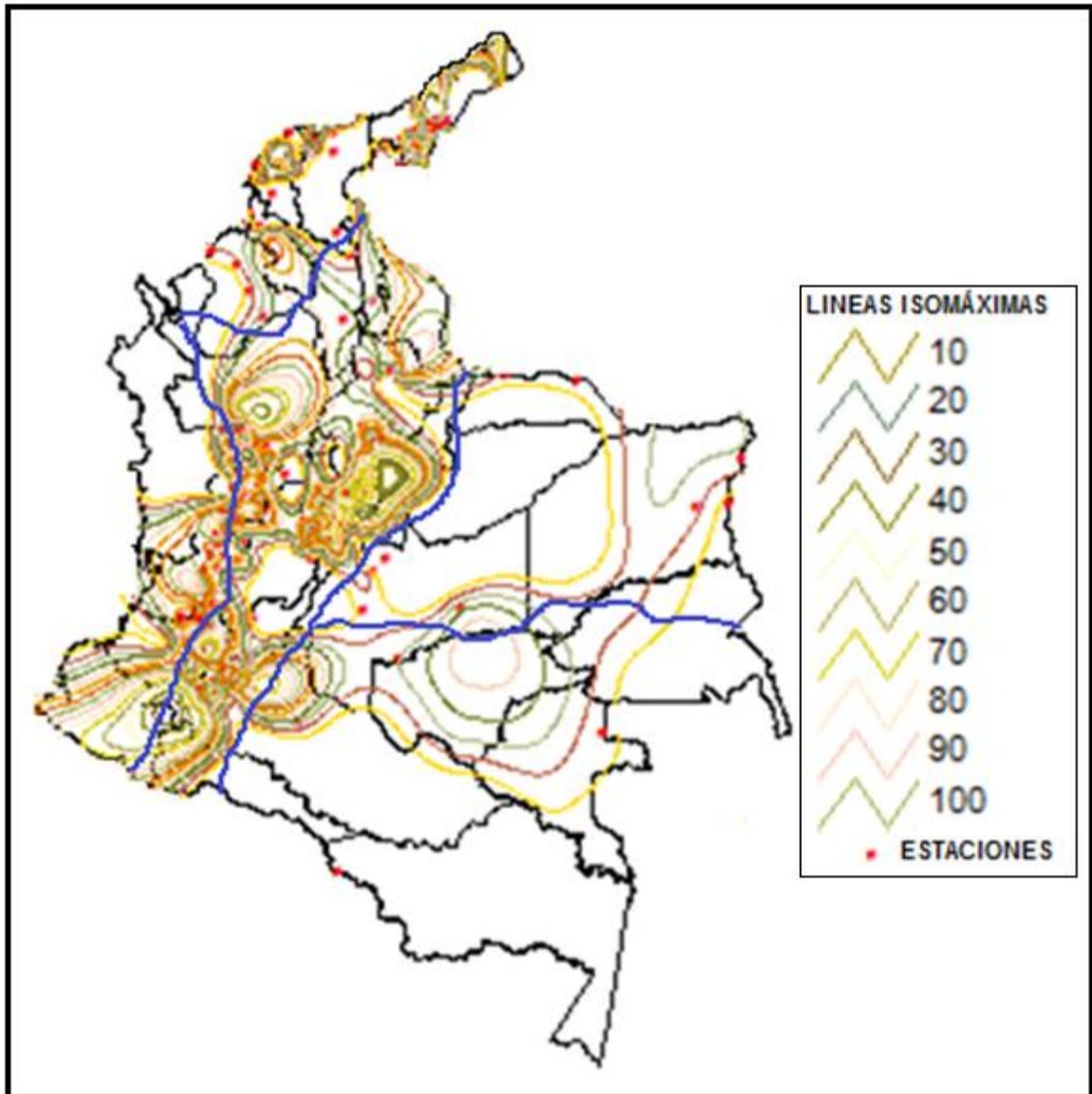


Figura 28. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 50

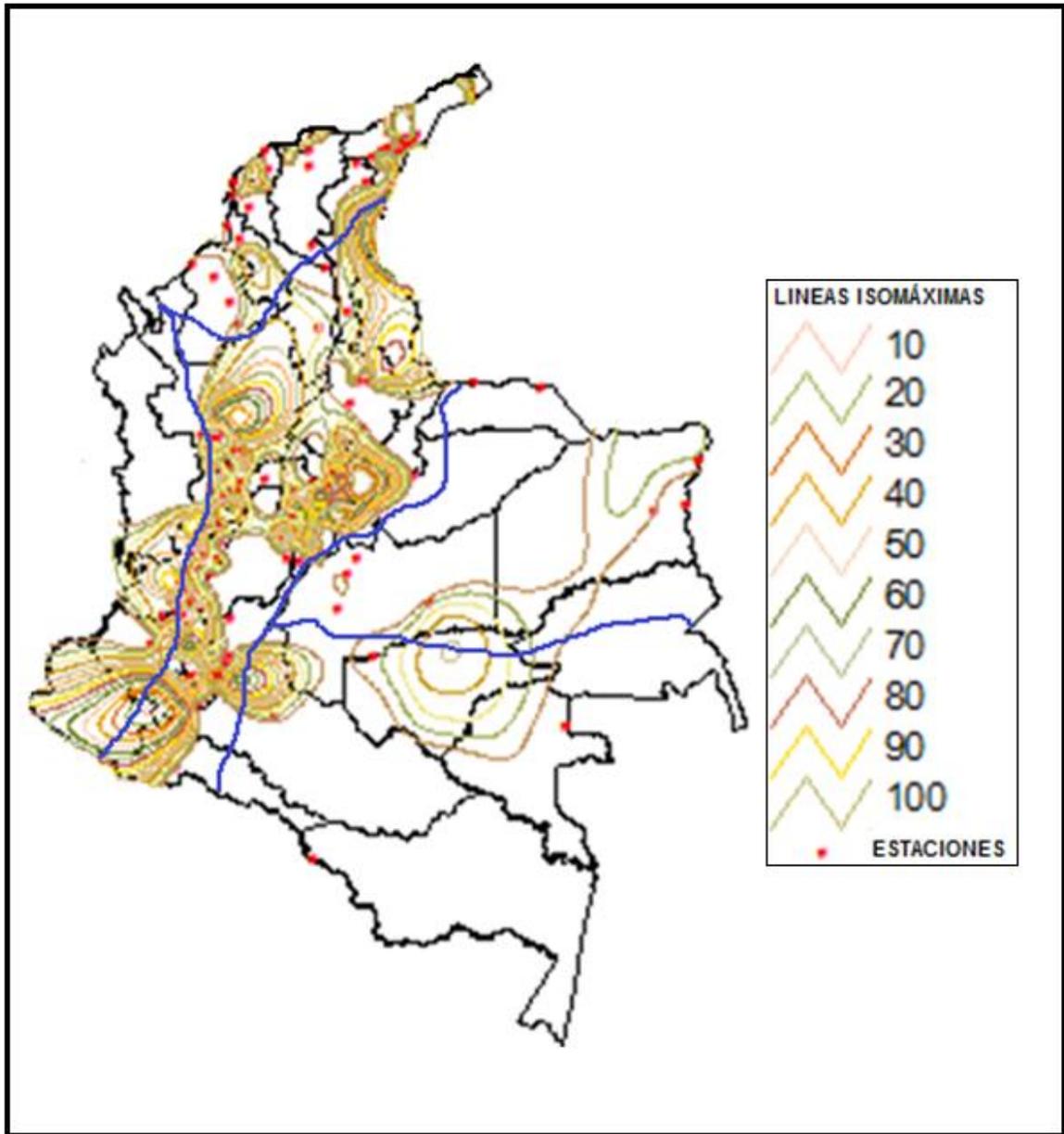


Figura 29. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 100

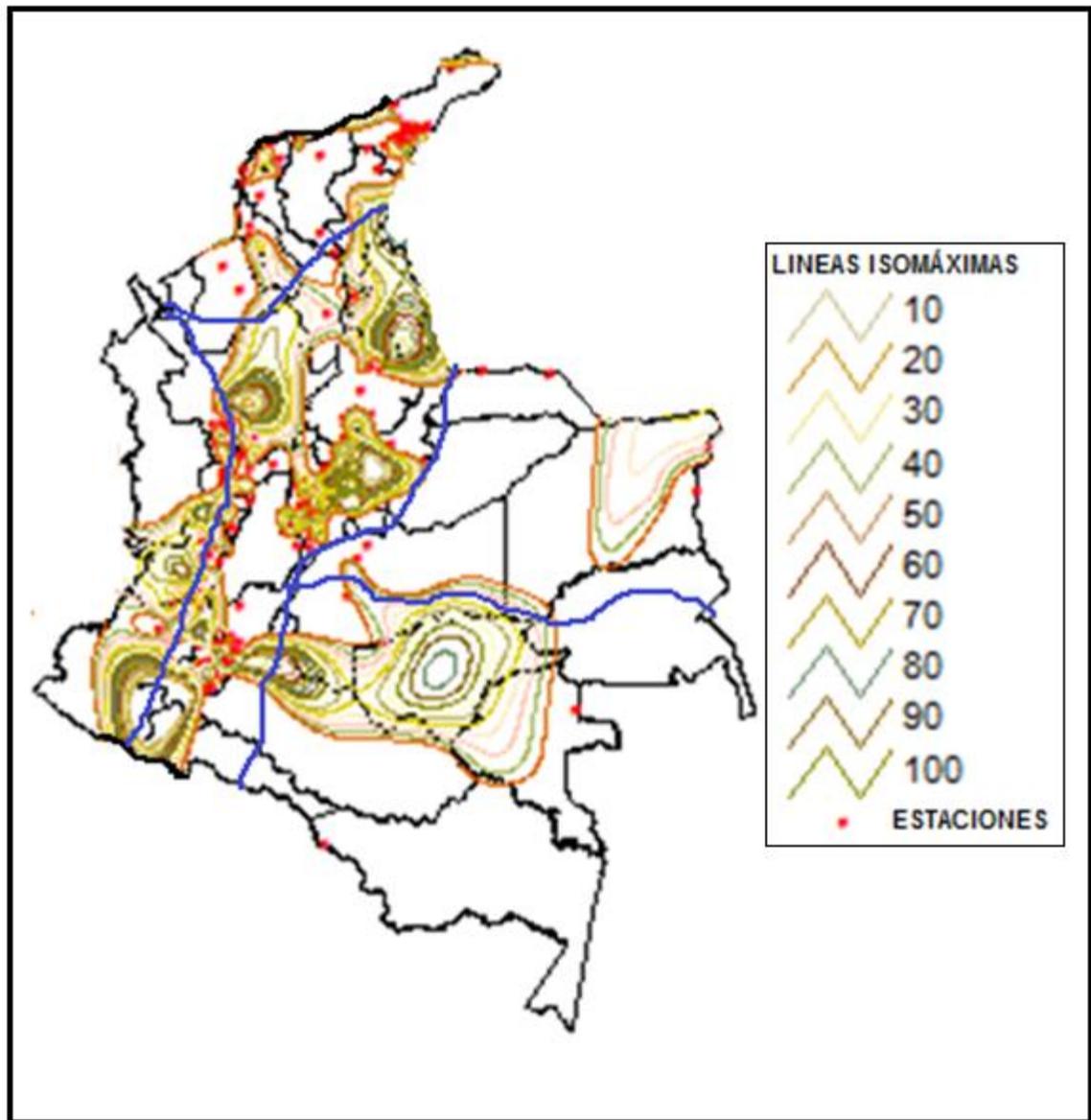


Figura 30. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando un tiempo de retorno 500

Comentarios gráficas período de retorno:

En éstas gráficas nos muestra que la elección que se realizó fue GEV de momentos ponderados con el cual cada graficas nos muestra una isomáxima para un tiempo de retorno determinado, este tiene unas líneas de cada color la cual nos muestra los resultados que también fueron expresados en el anexo para así poder identificar más fácil en proyectos futuros.

7.6.1 Análisis grafico de los parámetros K, U, Alpha de la Distribución Gev Momento ponderado

Considerando que la distribución de probabilidad Gev momento ponderado presentó el mejor ajuste, se colocaron los parámetros K, U, ALFHA, para Colombia tal como se presentan en las figuras 31 al 33.

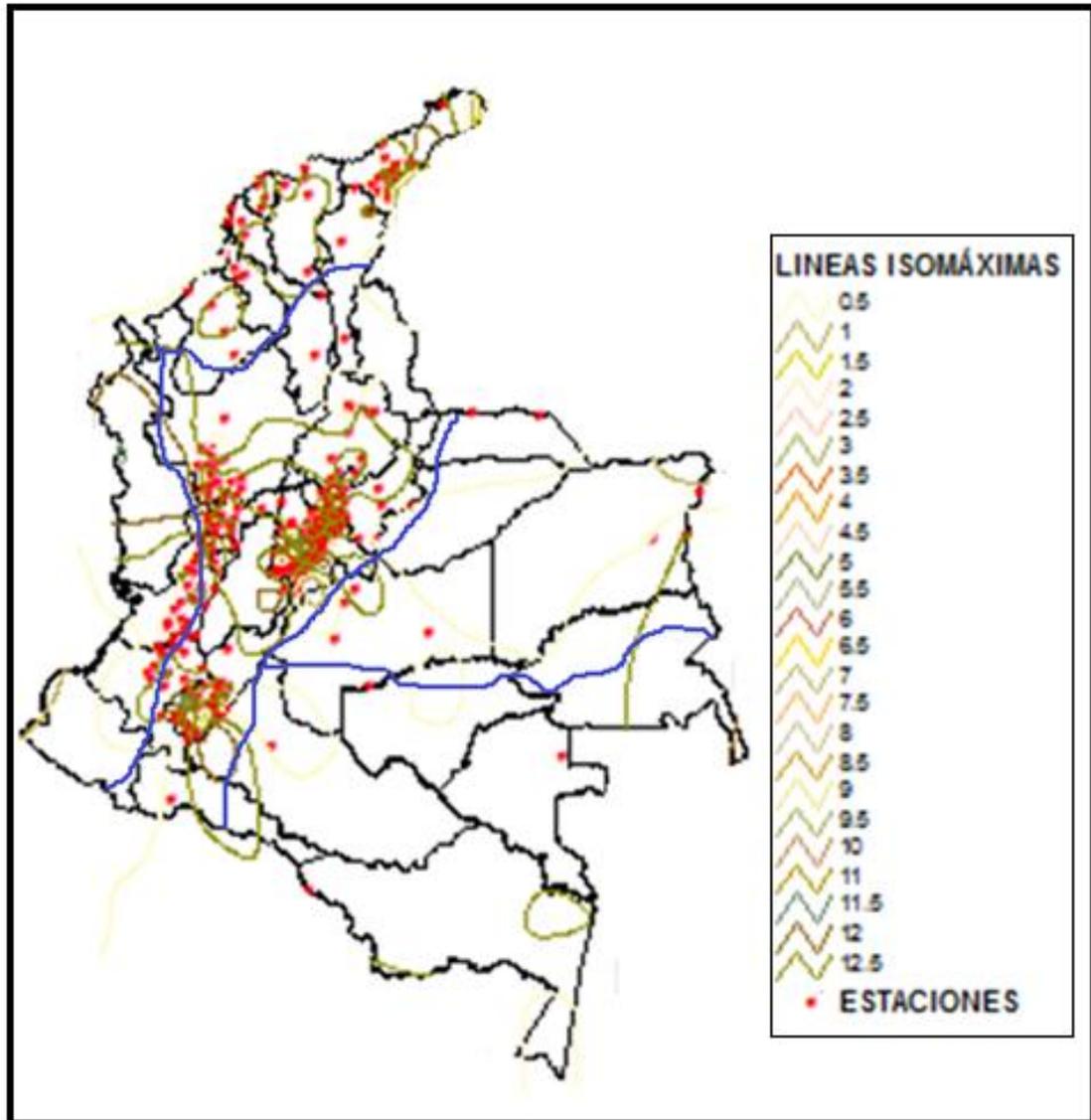


Figura 31. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando parámetro K

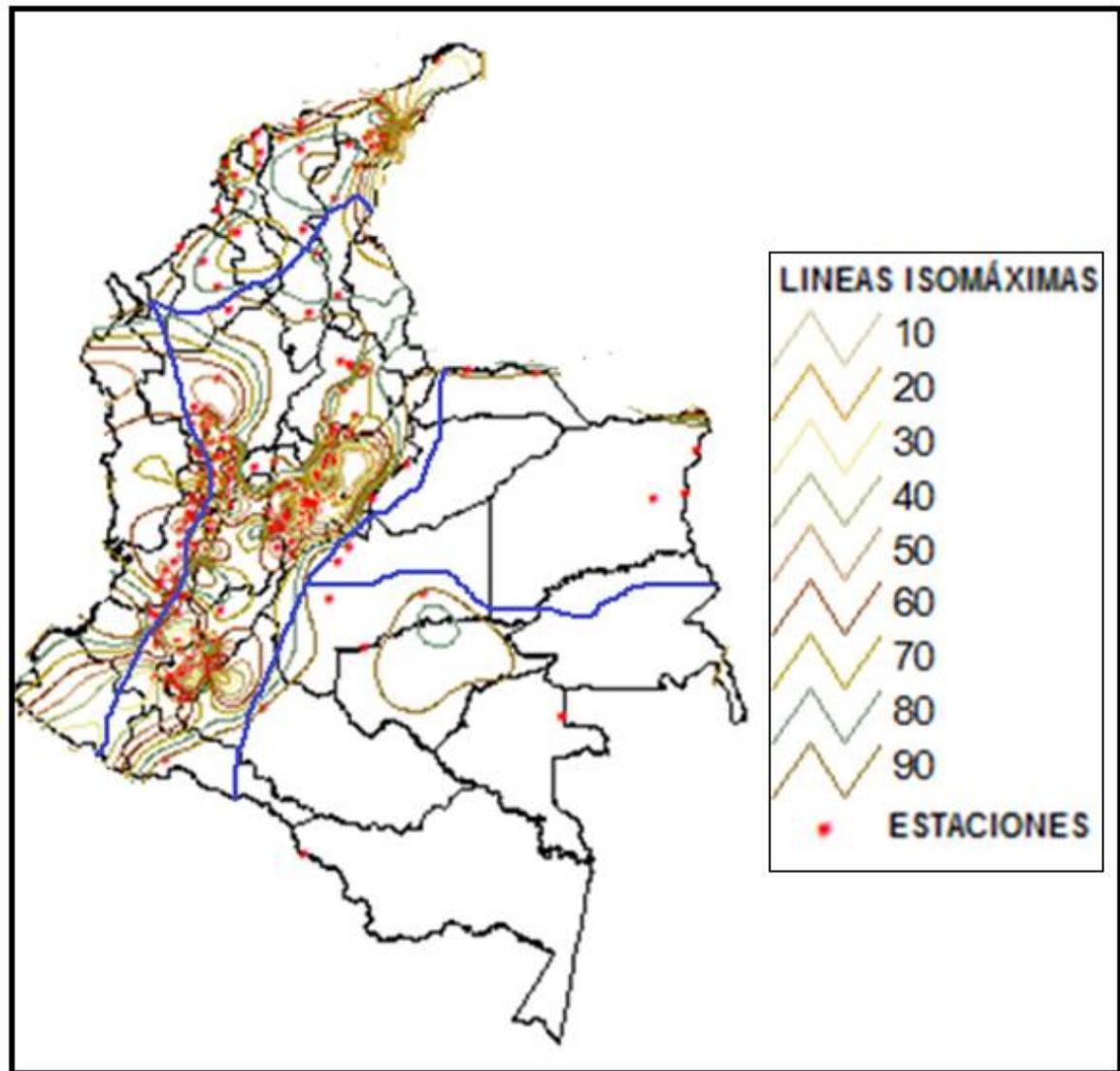


Figura 32. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando parámetro U

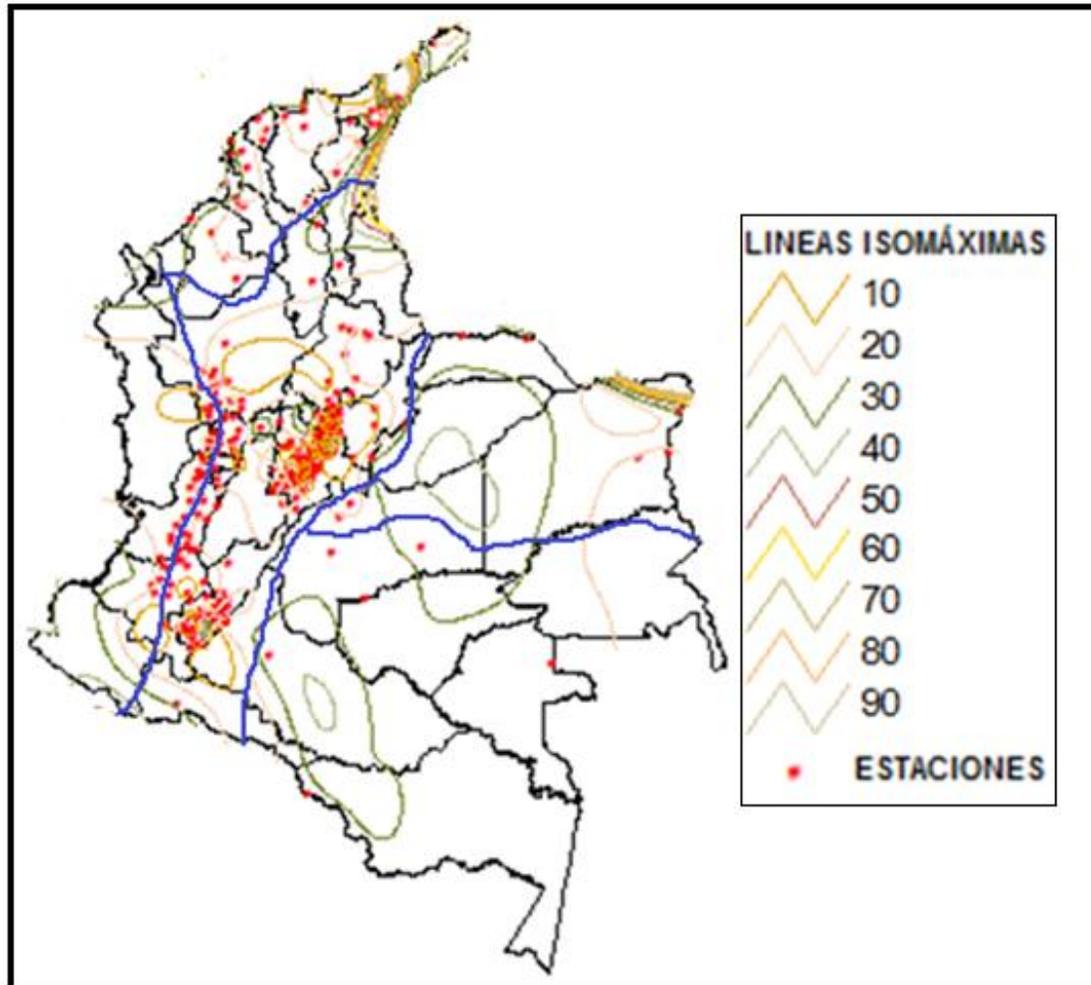


Figura 33. Estaciones Con La Distribución Gev Momento Ponderado, aplicando parámetro ALPHA

Comentarios graficas parámetros:

En estas graficas se muestran los parámetros de todas las regiones del país donde estas no tienen la homogeneidad que se requiere pero estas solo se realizaron con el motivo de dejar marcado el valor gráficamente y mostrar el comportamiento en el país.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La metodología utilizada para la regionalizar la función en Colombia consistió en realizar el siguiente procedimiento:
 - a) Se recopilaron estaciones con registros de precipitaciones máximas en 24 horas, distribuidas uniformemente en Colombia.
 - b) Se evaluó la confiabilidad en el número de estaciones seleccionadas, utilizando la norma NTP 283.
 - c) Se aplica la prueba estadística Chi-Cuadrado por estación para analizar la confiabilidad de distintas distribuciones de probabilidad (GUMBEL, GEV, LOG-PEARSON, PEARSON III, NORMAL) con métodos de ajustes como (MAX. VEROSIMILITUD, MOMENTOS PONDERADOS, MOMENTOS, SAM) y se graficaron los valores de Chi-Cuadrado con el motivo de buscar la homogeneidad de los resultados en el país.
 - d) Se selecciono la distribución predominante en el país.
 - e) Para la distribución seleccionada en el país se regionalizaron las precipitaciones máximas asociadas a periodos de retornos y los parámetros de dicha función.
- De todos los análisis realizados con las estaciones recopiladas se encontró un nivel de confiabilidad alto de tal manera que se pudiera respaldar los análisis efectuados.
- Con base en el análisis regional de frecuencia de las precipitaciones máximas en Colombia se recomienda utilizar la distribución de probabilidad

hidrológica GEV (método de momentos ponderados) debido a que en todas las regiones se obtuvieron los mejores resultados del test estadístico Chi-Cuadrado, con un valor promedio por región de 5,594, sin embargo se pueden utilizar las distribuciones de probabilidad de Gumbel y Pearson III dado que se obtuvieron buenos ajustes.

- Se logro establecer para la función Gev de momentos ponderados los parámetros (k, u, alpha) y las precipitaciones por región con diferentes periodos de retorno, con los cuales se regionalizo dicha función en el país. Lo anterior se realizo con el programa ARCGIS y HYFRAN (véase figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28).
- Para próximos trabajos se recomienda utilizar funciones mixtas de probabilidad para analizar su influencia en Colombia y recopilar mucha más información en las regiones Amazona y Orinoquia para así mejorar la certeza de éstas regiones.
- Se recomienda analizar el efecto ocasionado por el fenómeno del niño y de la niña.
- En futuros trabajos se recomienda analizar la influencia del cambio climatico en las precipitaciones máximas en 24 horas.



9. BIBLIOGRAFIA

NOUVELOT, j. GOULVEN, p. ALEMAN, m. POURRUT, p. Análisis estadístico y regionalización de precipitaciones en ecuador. Disponible en internet: <http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014828.pdf>.

SÁNCHEZ, F. Precipitaciones: Mapa de isoyetas. San Román. Dpto. Geología. Univ. Salamanca(España). Recuperado en Junio de 2008. Disponible en internet: <<http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Precipitaciones.pdf>>.

GUTIÉRREZ, E. SIG (los sistemas de información geográfica).Recuperado el 30 de abril de 2009. Disponible en internet: <<http://manuelgross.bligoo.com/content/view/501371/Los-sistemas-de-informacion-Geografica-SIG.html>>.

CASTILLO, I.Hydrological Frequency Analysis (HYFRAN).Recuperadoel 30 de enero de 2008.Disponible en internet: <<http://aguaingenieria.blogspot.com/2008/01/hydrological-frequencyanalysis.html>>.



INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.
Actualizado el 18 marzo de 2011. Disponible en internet: <<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=6#mision1>>.

APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie.9 ed. México D. F: Grupo Noriega, 2001.P. 252 . 255, 258 . 261, 263 . 264,270 . 272.

CHOW, V. T.;MAIDMENT, D. R.yMAYS, L. W.AppliedHydrology.Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, 1994.P. 374. 379.

MONSALVE SÁENZ, Germán.HIDROLOGIA EN LA INGENIERIA.1ed. santa fe de Bogotá:Escuela colombiana de ingeniería, 1995.

Vélez F, Curvas Intensidad Duración Frecuencia en Regiones Climatológicas de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas De Aquino, 1983.

Disponible en internet: <<http://www.wrpllc.com/books/hyfraninfo.html>>.

TURISCOLOMBIA, Disponible en internet:
<http://turiscolombia.com/colombia_geografia.html>

WIKIPEDIA, Recuperado el 29 de septiembre de 2011.Disponible en internet:<http://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Colombia>