

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA CDMB Y
CÁLCULO DE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS

JENNY LISETH FORERO TORRES
LUIS GABRIEL GALINDO MIER



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2011

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA CDMB Y
CÁLCULO DE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS

JENNY LISETH FORERO TORRES
LUIS GABRIEL GALINDO MIER

Tesis de grado modalidad de Investigación para optar por el título de
Ingeniero Civil

DIRECTOR:
Ing. Ph.D. LUIS FERNANDO SALAZAR VELASQUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2011

A Dios por la vida

A mi madre, por ser mi luz en la oscuridad por ser tan emprendedora luchadora y admirable. De todo corazón este logro es especialmente dedicado a GLORIA ESTELA TORRES.

A mis hermanos por acompañarme en este camino.

A mi hermana Heidi por su fortaleza, confianza y apoyo.

A mi padre por su cariño y afecto.

Jenny Liseth Forero Torres

A Dios por la vida.

A mis padres por todo el amor, el apoyo y la confianza que han depositado en mi, a mi hermana por su apoyo incondicional, a mi hermano por su ejemplo, a mi sobrino Gabrielito por llenarme de felicidad. A toda mi familia que la amo.

Luis Gabriel Galindo Mier

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a nuestro director de proyecto y maestro el Ing. Ph.D Luis Fernando Salazar Velásquez, por su colaboración y apoyo en todo lo que estuvo a su alcance y sus valiosos comentarios y recomendaciones.

Al cuerpo en general de profesores, por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias, que contribuyeron con mi proceso de formación tanto integral como intelectual, para mi futuro desarrollo profesional.

A todos nuestros amigos, compañeros y personas que contribuyeron en nuestra formación integral como estudiantes y brindaron su constante apoyo.

A la CDMB por la colaboración y suministro de los datos que sirvieron para el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. METODOLOGIA Y DATOS.....	21
1.1 GENERALIDADES	21
1.2 MÉTODO PARA LLENADO DE DATOS FALTANTES DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS	22
1.3 MODELOS ESTADÍSTICOS DE ANÁLISIS PARA LA HOMOGENIZACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	22
1.3.1 Pruebas de Cambio en la Media, Incluyendo el Punto de Cambio	22
1.3.2 Pruebas de Cambio en la Media, Sin Incluir Punto de Cambio.....	24
1.3.3 Pruebas de Cambio en la Varianza, Incluyendo Punto de Cambio.....	25
1.3.4 Pruebas de Tendencia en la Media	28
1.3.5 Pruebas de Independencia	30
1.3.6 Modelos Estadísticos para la Identificación de Datos Extremos en Series Hidrometeorológicas	33
1.3.6.1 Pruebas Incluyendo Outlier.....	33
1.3.6.2 Pruebas Sin Incluir Outliers.....	33
1.4 HIDROSIG	34
1.4.1 ANSET	35
1.4.2 Introducción de Datos en Hidrosig	35
1.5 DATOS	36
2. RESULTADOS.....	42
2.1 LLENADO DE DATOS FALTANTES PARA LAS SERIES DE DATOS	42
2.2 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD	43
2.3 DETECCIÓN DE DATOS EXTREMOS	64
CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFIA.....	70
ANEXOS	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información estación Telecom CDMB.....	37
Tabla 2. Información estación Club Campestre CDMB.....	38
Tabla 3. Información estación El Rasgón CDMB	38
Tabla 4. Información estación La Esperanza CDMB	38
Tabla 5. Información estación La Mariana CDMB.....	39
Tabla 6. Información estación Sevilla CDMB	39
Tabla 7. Información estación Charta CDMB.....	39
Tabla 9. Información estación El Roble CDMB	40
Tabla 10. Información estación El Gramal CDMB.....	40
Tabla 11. Información estación El Lago Alto CDMB	41
Tabla 12. Información estación El Lago Alto CDMB	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formato para introducción de datos en Hidrosig, estación Telecom CDMB.....	36
Figura 2. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Telecom CDMB	45
Figura 3. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Club Campestre CDMB.....	46
Figura 4. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación El Rasgón CDMB	47
Figura 5. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación La Esperanza CDMB	49
Figura 6. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación La Mariana CDMB	50
Figura 7. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Sevilla CDMB	51
Figura 8. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Charta CDMB	53
Figura 9. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación El Roble CDMB	54
Figura 10. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación La Flora CDMB	55
Figura 11. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación El Gramal CDMB	56
Figura 12. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Lago Alto CDMB	57
Figura 13. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Totumas Ptar CDMB.....	58

Figura 14. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación El Rasgón CDMB	60
Figura 15. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación La Esperanza CDMB	61
Figura 16. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación Charta CDMB	62
Figura 17. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación El Gramal CDMB	63

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación Telecom CDMB.....	72
ANEXO 2. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Telecom CDMB	73
ANEXO 3. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación Club	73
ANEXO 4. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Club Campestre	74
ANEXO 5. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación El Rasgón CDMB	74
ANEXO 7. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación La Esperanza CDMB	75
ANEXO 8. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación La Esperanza CDMB	76
ANEXO 9. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación La Mariana CDMB	76
ANEXO 10. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación La Mariana CDMB	77
ANEXO 11. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación Sevilla CDMB.....	77
ANEXO 12. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Sevilla CDMB	78
ANEXO 14. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Charta CDMB	79
ANEXO 15. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación El Roble CDMB	79

ANEXO 16. Datos Extremos Prueba Precipitación. Rango Normal Estación El Roble CDMB	80
ANEXO 17. Datos Extremos Prueba Precipitación. Normal de Asimetría Estación La Flora CDMB	80
ANEXO 18. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación La Flora CDMB	81
ANEXO 19. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación El Gramal CDMB.....	81
ANEXO 20. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación El Gramal CDMB.....	82
ANEXO 21. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación Lago Alto CDMB	82
ANEXO 22. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Lago Alto CDMB	83
ANEXO 23. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación Totumas Ptar CDMB.....	83
ANEXO 24. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Totumas Ptar CDMB.....	84
ANEXO 25. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Asimetría Estación El Rasgón CDMB.....	84
ANEXO 26. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Estación El Rasgón CDMB	85
ANEXO 27. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Asimetría Estación La Esperanza CDMB.....	85
ANEXO 28. Datos Extremos Temperatura. Prueba Rango Normal Estación La Esperanza CDMB.....	86
ANEXO 29. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Asimetría Estación Charta CDMB.....	86
ANEXO 30. Datos Extremos Temperatura. Prueba Rango Normal Estación Charta CDMB	87

ANEXO 31. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Asimetría Estación Gramal CDMB.....87

ANEXO 32. Datos Extremos Temperatura. Prueba Rango Normal Estación Gramal CDMB.88

RESUMEN

TITULO:

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA CDMB Y CÁLCULO DE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS*

AUTORES:

FORERO TORRES JENNY LISETH
GALINDO MIER LUIS GABRIEL

PALABRAS CLAVES:

Precipitación, Temperatura, Fenómeno del Niño, Fenómeno de Niña, Homogeneidad, Datos Extremos.

DESCRIPCIÓN:

Se realiza el análisis de series de tiempo de precipitación y temperatura de la CDMB, aplicando la homogenización de los datos obtenidos de cada estación. Para ello se utilizó un Software llamado Hidrosigel cual emplea diferentes métodos estadístico, a través de su plataforma cuenta con una herramienta de análisis llamada ANSET (análisis de series de tiempo), que permite analizar cambios en la media, cambios en la varianza y análisis de independencia. Se aplicó la regresión lineal a cada una de las series obteniéndose tendencias para cada estación que general son decrecientes tanto para precipitación como temperatura. Aplicando la homogeneidad se detectó la presencia de años comunes de cambio en media y varianza, también se realizó la detección de datos extremos aplicando métodos estadísticos los cuales se adaptaban al número de datos de la serie que se analizó, obteniendo valores de datos por encima de la media para la prueba de Normalidad con Asimetría y valores por arriba y por debajo de la media para la prueba Rango Normal. Este análisis y cálculo de tendencias permitió detectar la presencia de posibles datos extremos, la calidad de información que maneja la CDMB y conocer la aplicación de los diferentes métodos estadísticos basados en modelos estacionarios, que involucran cambios en media, varianza, independencia, tendencia; usando las pruebas de análisis en condiciones paramétricas y no paramétricas, con criterios de inclusión y no inclusión de los puntos de cambio para el análisis y modelamiento de la información.

*Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniería físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Ph.D SALAZAR Velásquez. Luis Fernando

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF INFORMATION HYDROMETEOROLOGICAL CDMB AND CALCULATION OF TRENDS

AUTHORS:

FORERO TORRES JENNY LISETH
GALINDO MIER LUIS GABRIEL

KEYWORDS:

Precipitation, temperature, El Niño, La Niña phenomenon, Homogeneity, outliers.

DESCRIPTION:

It performs time series analysis of precipitation and temperature CDMB of applying the homogenization of data from each station. We used a software called Hidrosigel which employs different statistical methods, through its platform has a ANSET call analysis tool (time series analysis), which to analyze changes in the mean changes in the variance analysis of independence. Se applied linear regression to each of the series trends obtained for each station are generally decreasing both precipitation and temperature. Applying the homogeneity detected the presence of common years of change in mean and variance was also performed to detect outliers using statistical methods which are adapted to the number of data series to be analyzed, obtaining data values above the mean to test for normality with Asymmetry and values above and below the average for the test normal range. This analysis and calculation trends allowed to detect the possible presence of outliers, the quality of information handled by the CDMB and know how to use different statistical methods based on stationary models, which involve changes in the mean, variance, independence, trend, using screening tests in parametric and conditions parametric criteria for inclusion and non-inclusion of turning points for the analysis and modeling of information.

* Project of grade

** Faculty of Engineering's Physical Mechanics, School of Civil Engineering, Director: Ing. Ph.D SALAZAR Velásquez. Luis Fernando

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo el hombre se ha interesado por estudiar diferentes aspectos de la naturaleza, aspectos que se transforman en variables naturales dinámicas que conociéndolas a profundidad dan un panorama mas claro de como es su comportamiento a lo largo del tiempo para poder hacer una modelización numérica de estas variables. La precipitación, temperatura y comportamiento de caudales, etc., son variables de las que el hombre durante su historia ha tenido una dependencia constante, debido a que factores como la lluvia, temporadas de sol y los caudales van ligados de manera continua al desarrollo y evolución de la sociedad tanto en forma de progreso como en prevención y protección de poblaciones, ciudades y países etc.

Para el caso de nosotros, es decir Colombia, existen diversas entidades encargadas de la toma de datos hidrometeorológicos como caudal, precipitación, evaporación, temperatura, los cuales son utilizados ya sea para el diseño de obras civiles, la proyección de catástrofes naturales o simplemente para tener una visión y análisis detallado de como ha sido el comportamiento de estos factores hidroclimáticos. Entidades como la CDMB, la CAR, Corpoboyacá, entre otras, y a nivel nacional como el IDEAM, son la encargadas de la toma y manipulación de este tipo de información y a medida que pasa el tiempo logran consolidar una base de datos que en la actualidad es pequeña en comparación con entidades internacionales, más exactamente de Norte América y Europa, las cuales han logrado almacenar datos representativos debido a la gran ventaja del inicio en sus investigaciones.

Sin embargo en nuestro caso la toma de datos hidrometeorológicos se ha realizado tratando que estos tengan un buen nivel de precisión lo que nos hace pensar que pueden tener cierto grado de confiabilidad, sin desconocer que

naturalmente (debido a fenómenos locales o macroclimáticos, como el ENSO) los datos pueden presentar datos extremos que tienen que ser considerados. Otro factor importante en la veracidad y exactitud de los datos es la manipulación de los equipos por parte del operario o posibles fallas, generando así toma errónea o la ausencia de los mismos. Es así como en la últimas décadas surgen distintos métodos estadísticos y herramientas computacionales que logran normalizar las series ya sea considerando datos extremos o datos faltantes, homogenizando de tal forma que las entidades interesadas en este tipo de información y su manipulación tengan la confianza de estar trabajando con datos de calidad. Para este proyecto se trabajó con datos de la CDMB, que como corporación y dentro de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, en la búsqueda de dar cumplimiento a diferentes disposiciones legales, de carácter administrativo, de manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, necesitan manejar información contundente y confiable, es decir de excelente calidad debido a que la realización de diferentes modelamientos, predicciones y ejecución de proyectos se basa en la misma y muchas de las obras en la región son diseñadas de acuerdo a estas series de tiempo.

Por ello en este proyecto se partió de variables hidrometeorológicas como lo son Precipitación y Temperatura, como las principales y de más interés para la CDMB y así mismo se hizo una compilación de distintos métodos estadísticos para la determinación de datos extremos así como de la complementación de datos faltantes. En las series de datos es necesario buscar posibles causas a los valores extremos que se observan en los datos, ya que estos se pueden deber a factores directamente humanos, es decir en manipulación del equipo o fallas del mismo, o por fenómenos climáticos (como el Niño el calentamiento global). Con el propósito de hacer este análisis para series hidrológicas se utilizó el software Hidrosig, que como herramienta para en análisis de información hidrometeorológica, nos permite

hacer análisis de homogenización y análisis de datos extremos de las series de tiempo a través de una herramienta llamada ANSET dentro de su interface. .

Debido al tipo de información que se maneja, al carácter y significado de una corporación como es la CDMB en la región se hará un análisis de datos para revisar su calidad, teniendo en cuenta posibles causas.

En el capítulo 2 se introducen algunas generalidades, se hace la descripción de variables hidrometeorológicas y de los métodos estadísticos para la determinación de datos extremos y complementación de datos faltantes. También se hace una breve descripción del software utilizado para los análisis de las series de la CDMB.

En el capítulo tres se hace un análisis de los resultados encontrados, y se presenta un análisis de la calidad de los datos de la CDMB y recomendaciones sobre los mismos.

1. METODOLOGIA Y DATOS

1.1 GENERALIDADES

Hidrometeorología: Es una ciencia que reúne la climatología, meteorología e hidrología, aplicadas al ciclo del agua en la naturaleza. Abarca el estudio de las fases atmosférica (evaporación, condensación y precipitación) y terrestre (intercepción de la lluvia, infiltración y derramamiento superficial) del ciclo hidrológico y especialmente de sus interrelaciones. Comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de los ríos y los volúmenes almacenados en embalses naturales y artificiales así como de los factores meteorológicos.

El desarrollo de esta ciencia ayuda a la comprensión de los fenómenos hidrometeorológicos, así como el desarrollo de sistemas y herramientas hidrometeorológicas que vienen siendo cada día más utilizadas en la observación, predicción, modelización, prevención y alerta temprana, en las áreas de control de inundaciones y aplicaciones específicas para el control y gestión de embalses.¹

Precipitación: Se entiende por precipitación la condensación de vapor de agua que cae sobre la superficie de la tierra, esto se logra a través de la saturación de la atmósfera en la cual el agua se condensa para luego caer en forma de lluvia, esta lluvia puede ser congelada, llovizna, nieve o granizo. Dentro del ciclo hidrológico la precipitación forma parte importante debido a que es la causante de aportar la mayor cantidad de agua dulce sobre la tierra.²

Temperatura Aire o Ambiente: Se refiere a la temperatura registrada del aire en un instante dado, esta puede estar expresada en la temperatura máxima la cual se

¹ (Tomado de <http://www.crahi.upc.edu/es/proyectos/conocimiento/75-que-es-la-hidrometeorologia>).

² (Basado en: <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacion>)

da debido al mayor valor registrado en el transcurso del día o la temperatura mínima cuyo valor es el menor registrado dentro de un rango de las 06:00 hasta las 08:00 horas).

1.2 MÉTODO PARA LLENADO DE DATOS FALTANTES DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

- a. **Método Analítico:** Método utilizado cuando hay una distribución uniforme de las estaciones pluviométricas, se aplica por lo general para topografías donde las pendientes del terreno son mínimas, es decir terrenos casi planos, este método depende del número de estaciones pluviométricas y de la precipitación registrada por dichas estaciones.
- b. **Método de las Isoyetas:** Método que se ajusta más a la realidad, consiste en el trazado de curvas de igual precipitación similares a las curvas de nivel, en la que se hallan los puntos de precipitación haciendo una interpolación lineal, aquí se tiene en cuenta efectos propios de la cuenca en la que se aplica el método.
- c. **Curva de Doble masa:** Es una representación de la lluvia mediante una grafica la cual tiene una pendiente creciente que muestra valores de intensidad de lluvia en un intervalo de tiempo dado.

1.3 MODELOS ESTADÍSTICOS DE ANÁLISIS PARA LA HOMOGENIZACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

1.3.1 Pruebas de Cambio en la Media Incluyendo el Punto de Cambio

- **Prueba de Mann-Whitney:** Con esta prueba se hace un contraste de la diferencia de dos series de datos independientes a través de la prueba de una hipótesis nula; determinando dos muestras y haciendo un arreglo de estas de

forma creciente, para finalmente ordenarlas de acuerdo a un rango dado para así calcular el estadístico.

- **Prueba T Simple:** Esta prueba determina básicamente la igualdad o diferencia entre las medias de dos subgrupos de un grupo general, en el caso hidrometeorológico una serie A la cual tiene dos subgrupos A_1 con media μ_1 , desviación σ_1 y A_2 con media μ_2 , desviación σ_2 , siendo la suma de elementos de A_1 y A_2 el total de elementos de A, es decir $n_1+n_2=n$. Teniéndose las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\mu_1 = \sum_{t=1}^{n_1} A_1 / n_2$$

$$\mu_2 = \sum_{t=n_1+1}^n A_2 / n_2$$

Teniendo un estadístico definido como:

$$T = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Determinando S por medio de:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n_1} A_1 (A_1 - \mu_1)^2 + \sum_{t=n_1+1}^n A_2 (A_2 - \mu_2)^2}{n - 2}}$$

- **Prueba T modificada:** Esta prueba se aplica cuando las series de datos son independientes, y su aplicación es similar a la Prueba T simple partiendo de los mismos principios a diferencia que esta prueba solo puede ser aplicada si existe una total independencia, para trabajar con este método se tiene que aplicar una función de autocorrelación.
- **Prueba de Signo:** Prueba no paramétrica la cual maneja la comparación de dos series con el mismo número de datos para determinar si existen diferencias entre estas, se recomienda hacer esta prueba para datos mayores a 20. Puede resultar como alternativa del la prueba T. La prueba de Signo se realiza asignándole un rango para los datos dando signos positivos y negativos para realizar posteriormente una suma y finalmente hacer el cálculo del estadístico.
- **Prueba de Kruskal Wallis:** Este procedimiento estadístico muy similar a la Prueba de Mann-Whitney siendo este una extensión de esta prueba, se aplica para mas de tres series o mas de datos para probar si un grupo de datos son de una misma población. Siendo su prueba de nulidad la existencia de ninguna diferencia entre las series.

1.3.2 Pruebas de Cambio en la Media, Sin Incluir Punto de Cambio

- **Prueba de Sumas Acumuladas:** Los gráficos de control de sumas acumuladas, han demostrado su capacidad para detectar pequeños cambios. El estadístico de la prueba de las sumas acumuladas detecta niveles de cambios en las series hidrológicas de tiempo, es un metodo alternativo para control y se presenta convenientemente para su determinación, eligiendo el tamaño de la muestra y las características de control, en función del porcentaje defectuoso que se desean detectar.
- **Prueba de Homogeneidad de Abbe:** Los gráficos de control de sumas acumuladas han demostrado su capacidad para detectar pequeños cambios. El

estadístico de la prueba de las sumas acumuladas detecta niveles de cambios en las series hidrológicas de tiempo, es un método alternativo para control y se presenta convenientemente para su determinación, eligiendo el tamaño de la muestra y las características de control, en función del porcentaje defectuoso que se desean detectar.

- **Prueba de Pettit:** Prueba no paramétrica que permite hallar cambios que ocurren una sola vez en un tiempo desconocido. el estadístico de prueba está dado por el máximo valor del estadístico de la prueba de Mann-Whitney dentro del rango así:

$$KN = \text{Max}_{1 \leq t \leq N} |U_t, N| .$$

Donde U_t, N es equivalente al estadístico de la prueba de Mann-Whitney

1.3.3 Pruebas de Cambio en la Varianza, Incluyendo Punto de Cambio

- **Prueba F Simple:** Siendo $y_t, t = 1 \dots \dots N$, donde N es igual al número total de observaciones, que se divide en dos subseries en el punto de cambio de varianza propuesto $t=N1$. la primera subserie se asume normalmente distribuida con media μ_1 y varianza σ_1^2 se define como $y_t, t = 1 \dots \dots N1$. La segunda subserie se asume normalmente distribuida con media μ_2 y varianza σ_2^2 se define como $y_t, t = N1 + 1, \dots \dots N$.

La prueba F simple es utilizada para probar la igualdad entre las varianzas de dos series. Se utiliza la siguiente prueba:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2, H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Donde H_0 hipótesis nula y H_a hipótesis alternativa

El estadístico para la prueba F simple está definido por:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$$

- **Prueba F Modificada:** Es utilizada para probar la hipótesis de igualdad de varianzas de las dos subseries definidas similarmente como la prueba f simple, a diferencia esta prueba usa una autocorrelación y el estadístico de prueba que utiliza se basa en la distribución x-cuadrado. se usa cuando la muestra de la serie dada tiene una estructura de dependencia
- **Prueba de Ansari-Bradley:** Sean Y_t y Z_t dos series, con tamaños muestrales N_1 y N_2 respectivamente. Esta prueba se utiliza para evaluar la hipótesis nula de igualdad de varianzas, contra la hipótesis alternativa. Esta prueba es no paramétrica y para utilizarla se debe asumir que las dos series se obtienen de dos poblaciones con igual mediana conocida

Se hace una nueva serie $W_t, t=1, \dots, N_1+N_2$ con las dos series anteriores, ubicando una después de la otra. Se asigna un rango para cada observación W_t así:

Rango 1 a las observaciones más grande y más pequeña, y 2 a las segundas observaciones más grande y más pequeña, así sucesivamente. El conjunto de rangos se verá:

$$N = N_1 + N_2$$

$$N_{\text{par}} 1, 2, 3, \dots, \frac{N}{2}, \frac{N}{2}, \dots, 3, 2, 1$$

$$N_{\text{impar}} 1, 2, 3, \dots, \frac{N-1}{2}, \frac{N+1}{2}, \frac{N-1}{2}, \dots, 3, 2, 1.$$

Se define el estadístico S así:

$$s = \sum_{t=1}^{N1} R(Yt)$$

Donde, R(Yt) es el rango asignado en la serie Wt a la observación Yt.

- **Prueba de Bartlett:** Esta prueba fue propuesta para evaluar si dos o mas series que tienen varianzas diferentes. se define un conjunto de series $X_t, t=1, \dots, N_i, i=1, \dots, m$, donde m es el numero de series y N_i el tamaño muestral de cada serie.

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_m^2, H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2 \neq \dots \neq \sigma_m^2$$

El estadístico de la prueba se calcula:

$$C = \frac{V_{log}}{NE}$$

$$V_{log} = \left[\sum_{i=1}^m N_i - m \right] \ln VT - \sum_{i=1}^m (N_i - 1) \ln VSi$$

$$NE = 1 + \frac{1}{3(m-1)} \left[\sum_{i=1}^m \frac{1}{N_i - 1} - \frac{1}{\sum_{i=1}^m N_i - m} \right]$$

$$VT = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (N_i - 1) VSi}{\sum_{i=1}^m (N_i - 1)} \right]$$

$$VSi = \left[\frac{\sum_{t=1}^{N_i} x_t - \mu^2}{N_i - 1} \right]$$

- **Prueba de Levene:** : Para desarrollar el estadístico de prueba de Levene es necesario utilizar el análisis de varianzas en una dirección en la serie de desviaciones absolutas. Supongamos un conjunto de series X_{it} , $t = 1, \dots, N_i$, $i = 1, \dots, m$ en el cual N_i es el tamaño muestral de cada serie, y m representa el número de series; inicialmente se calcula el valor medio total de todas las observaciones de las series de desviaciones absolutas luego, se define la media de cada serie de desviaciones absolutas se calcula la suma media de cuadrados entre las series de desviaciones absolutas y la suma media de cuadrados dentro de la serie de desviaciones absolutas y el estadístico de esta prueba está dado por el cociente de estas dos sumas respectivamente.

1.3.4 Pruebas de Tendencia en la Media

- **Prueba T para tendencias lineales:** Supóngase una serie hidrológica anual, para la cual se pretende determinar si se presenta una tendencia significativa y, si ese es el caso, posteriormente, estimar los parámetros de la ecuación de regresión lineal de la siguiente forma:

$$Y_t = a + bt$$

La hipótesis de que la serie tiene una tendencia significativa es equivalente a probar la hipótesis de que el parámetro b es diferente de cero. Esta hipótesis puede ser verificada calculando el estadístico.

- **Prueba de Sen:** Esta prueba contiene un estimador de pendiente no paramétrico, se supone una serie hidrológica anual $Y_t, t=1 \dots N$, se desea determinar si presenta una tendencia significativa. Se comienza por redefinir una nueva serie y con esta nueva serie se define el estimador de pendiente de la siguiente manera:

$$s = x_{\frac{(M+1)}{2}} \quad \text{si } M \text{ es impar}$$

$$s = \frac{x_M + x_{(M+1)}}{2} \quad \text{si } M \text{ es par}$$

Donde, $M = N(N - 1)/2$ es el número total de elementos en la serie redefinida.

- **Prueba de Hotelling-Pabst:** Se tiene una serie hidrológica anual $Y_t, t=1, \dots, N$ donde N es el tamaño muestral y se desea establecer si presenta una tendencia significativa en la media, a partir de Y_t definimos una nueva serie X_t , organizando de la serie en orden creciente. El estadístico para la prueba de Hotelling-Pabst está definido por:

$$T = \sum_{t=1}^N (R - t)^2$$

Donde $R(Y_t)$ es el rango que la observación Y_t tiene en la serie X_t

La hipótesis nula, H_0 , es que la serie tiene una tendencia lineal y la alternativa es que no la tiene. De esta manera se determina si el valor del estadístico está dentro de los límites, para así proceder a aceptar o rechazar la hipótesis.

- **Prueba de Mann-Kendall:** Prueba no paramétrica supóngase que $Y_t, t = 1, \dots, N$, es una serie hidrológica, y se desea probar si la serie dada tiene una tendencia significativa. La hipótesis nula, H_0 , es que los valores de Y_t no tienen una tendencia monótona (creciente o decreciente), esto es que las distribuciones de Y_t y Y_i no son idénticas.

A partir de Y_t es posible definir una nueva serie z_t .

$$z_{ij} = 1, \dots, N - 1, \quad j > i, \quad z_{jk} = 1, \dots, N(N - 1)/2$$

Así:

$$Z_k = 1 \text{ si } y_j > y_i$$

$$z_k = 0 \text{ si } y_j = y_i$$

$$z_k = -1 \text{ si } y_j < y_i$$

Y el estadístico de esta prueba esta dado por la siguiente ecuación:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N Z_k$$

1.3.5 Pruebas de Independencia

- **Prueba de Corridas:** Se tiene una muestra de una variable hidrológica Y_t , $t = 1, \dots, N$. Se quiere inferir, si la variable hidrológica es una variable independiente. Inicialmente se define:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Y_t$$

Se obtiene una nueva serie Z_t tal que:

$$\text{paratodoy}_t \geq \mu, z_t = 1$$

$$\text{paratodoy}_t \leq \mu, z_t = 0$$

Una corrida estará representada por valores consecutivos de 1 ó 0 en la serie Z_t , $t = 1, \dots, N$. Si k representa el número de corridas en la serie Y_t , $t = 1, \dots, N$, se puede calcular:

$$\mu_k = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

$$s_k = \sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}}$$

$$n_1 = \sum_{t=1}^N Z_t$$

$$n_2 = N - n_1$$

El estadístico a utilizar es:

$$u = \left| \frac{k - \mu_k}{s_k} \right|$$

- **Prueba de Spearman:** Se tiene una muestra de una variable hidrológica Y_t , $t = 1, \dots, N$. Se quiere inferir, si la variable hidrológica es una variable independiente. A partir de la serie Y_t , se obtiene una nueva serie W_t definida como la serie Y_t organizada en orden creciente. La variable t define la posición de la observación Y_t . Si M_t define la posición de la observación Y_t en la serie W_t , $t = 1, \dots, N$,

Se calcula con la posición de la observación:

$$D_t = t - \mu, t = 1, \dots, N$$

$$R = 1 - \frac{6 \sum_{t=1}^N Dt^2}{N(N^2 - 1)}$$

Para así aplicar el estadístico:

$$T = \frac{|R\sqrt{N-2}|}{\sqrt{1-R^2}}$$

- **Prueba de Punto Cambiante:** Se tiene una muestra de una variable hidrológica Y_t , $t = 1, \dots, N$. Se quiere inferir, si la variable hidrológica es una variable independiente.

Se define:

$$Z_t = 1 \text{ si } \begin{cases} y_{t-1} < y_t > y_{t+1} & \text{pico} \\ y_{t-1} > y_t < y_{t+1} & \text{valle} \end{cases}$$

$Z_t = 0$ cuando existe otra condicion

Bajo estas condiciones se aplica el estadístico:

$$\frac{\left| M - \frac{2(N-2)}{3} \right|}{\sqrt{\frac{16N-29}{90}}}$$

Donde M se define como el número total de picos y valles

$$M = \sum_{t=1}^N Z_t$$

1.3.6 Modelos Estadísticos para la Identificación de Datos Extremos en Series Hidrometeorológicas

1.3.6.1 Pruebas Incluyendo Outlier

- **Prueba de Rosner:** Esta prueba permite la detección de múltiples outliers en el grupo de datos. Adicionalmente, esta es una prueba de dos extremos pues permite identificar outliers por encima o por debajo de la media. Esta prueba aplica para 25 o más observaciones.
- **Prueba de Dixon:** La prueba está basada en una comparación de la observación más alejada con la próxima observación, así la prueba tiene que aplicarse con cautela para evitar el enmascaramiento de un outlier por otro. En este sentido se recomienda que primero se identifique el grupo de outliers sospechosos del grupo de datos. Esta prueba aplica a un grupo de 25 o menos observaciones.
- **Pruebas Estadísticas EM y LM:** La prueba estadística LM es una prueba de dos extremos e identifica outliers por encima o por debajo de la media. La prueba estadística EM puede ser usada para detectar si las observaciones más extremas (por encima o por debajo de la media) en una muestra son outliers. Esta prueba aplica para tamaños de muestras menores o iguales a 50.
- **Prueba De Normalidad Con Asimetría:** se basa en que una variable normalmente distribuida tiene asimetría cero. Esta prueba es aplicable a muestras de más de 20 observaciones. Para esta prueba se requiere especificar el número de outliers que se quiere detectar.

1.3.6.2 Pruebas Sin Incluir Outliers

- **Prueba De Normalidad De Shapiro-Wilk:** Esta prueba se usa consecutivamente para detectar outliers, hasta que la hipótesis de normalidad de la muestra no pueda ser rechazada. se aplica a muestras con tamaños menores a 50.

- **Test de Grubbs:** Esta prueba se basa en suponer la normalidad de la muestra que se desea probar. Este test detecta únicamente un outlier, eliminando el punto detectado e iterando hasta que no se detecten más outliers. Esta no aplica a muestras con 6 o menos datos.
- **Test de Kandel y Last:** Este test puede ser aplicado a muestras discretas o a muestras continuas. Esta prueba consiste en calcular para cada dato de la muestra el parámetro "conformidad", mediante el cual se puede decidir si un punto de la muestra es "no conforme", y de esta manera declara como outliers en condiciones de no conformidad.
- **Rangos Normales:** En grupo de observaciones se sospecha M datos son outliers. Se calculan la media y la desviación estándar estimadas, después de que las observaciones más extremas han sido retiradas seguidamente se define un umbral por encima y por debajo de manera que los valores sospechosos que no se encuentran dentro del intervalo se considera outliers.

1.4 HIDROSIG

Es una herramienta computacional la cual permite el análisis de información hidrometeorológica, a partir de una amplia funcionalidad dada por el procesamiento de información hidrológica, herramientas operativas y la inserción de datos para su respectivo análisis. Este software es de carácter libre, ofreciéndole al usuario la posibilidad de adecuarlo y adaptarlo a las necesidades propias, así mismo realizar actualizaciones y mejoras en su sistema operativo. Dentro de su aplicabilidad esta el manejo de información raster de modelos digitales de terreno y variables hidrológicas distribuidas espacialmente;

información puntual de sitios de interés y estaciones de medición hidroclimatológico.

1.4.1 ANSET

Para en análisis de series de tiempo Hidrosig cuenta dentro de su interfaz con una herramienta llama ANSET, la cual permite hacer análisis de homegeneidad a series de tiempo definidas o introducidas por el usuario ya sea para estudios hidrológicos etc., y la obtención gráfica de los datos insertados. Otra aplicabilidad de esta herramienta es la detección de datos extremos (outliers), obteniendo resultados numéricos, gráficos que dan una visión mas clara de como es el comportamiento de la estación, para así poder dar una resultados final sobre posibles causas de la presencia de valores extremos.

1.4.2 Introducción de Datos en Hidrosig

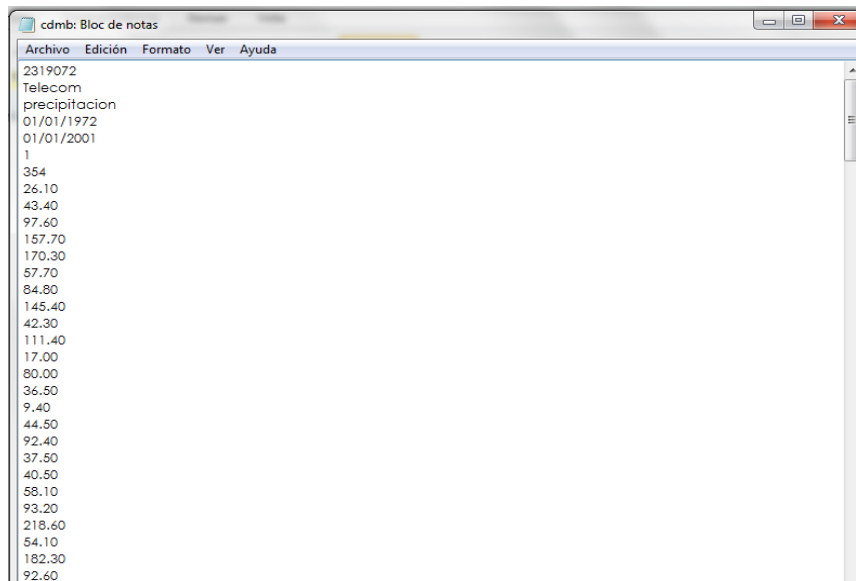
Para la introducción de datos en el Software Hidrosig, más exactamente en su modelos de análisis de datos ANSET se requiere que los datos estén organizados de cierta forma al igual que se incluya información necesaria para el análisis.

Dentro de los requisitos para la forma de organización de los datos se encuentran los siguientes:

- ✓ código de la estación
- ✓ nombre
- ✓ variable
- ✓ fecha inicial de los registros
- ✓ fecha final de los registros
- ✓ resolución (0 si es anual, 1 si es mensual, 2 si es diario)
- ✓ número de registros

Así mismo lo datos se pueden ingresar directamente desde el programa o por medio de un block de notas, a continuación se da organización de los datos para la estación Telecom:

Figura 1. Formato para introducción de datos en Hidrosig, estación Telecom CDMB.



Fuente de Autor

1.5 DATOS

Las series de datos hidrológicos empleadas en este proyecto fueron facilitadas por la por la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), dentro de los datos se encuentran series de tiempo de Evaporación, Brillo, Humedad Relativa, Precipitación y Temperatura, siendo las dos últimas las variables más repetitivas dentro de las estaciones de estudio es decir las que se presenta con mayor frecuencia como toma de datos. En el Anexo I se presentan los datos de cada estación, junto con una descripción de su localización, código de la estación, altura, fecha de instalación, valores máximos, medios y mínimos.

Los datos de trabajo son los valores mensuales de precipitación de las estaciones Telecom, Club Campestre, El Rasgo, La Esperanza, La Mariana, Sevilla, Charta, Roble, La Flora, El Gramal, Lago Alto y Totumos PTAR y los valores mensuales de temperatura de las estaciones de las estaciones Charta, el Rasgón, el Gramal y la Esperanza.

Las estaciones con series de tiempo de precipitación y temperatura son:

Tabla 1. Información estación Telecom CDMB

Nombre de la estación:	Telecom	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	PG	Municipio:	Bucaramanga
Código:	2319072	Corriente:	Lebrija
Latitud:	708	Fecha Instalación:	ene-72
Longitud:	7308	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	950		

Fuente de Autor

Tabla 2. Información estación Club Campestre CDMB

Nombre de la estación:	Club Campestre	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	PG	Municipio:	Floridablanca
Código:	2319079	Corriente:	Frio
Latitud:	703	Fecha Instalación:	oct-82
Longitud:	7302	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	940		

Fuente de Autor

Tabla 3. Información estación El Rasgón CDMB

Nombre de la estación:	El Rasgón	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	CO	Municipio:	Piedecuesta
Código:	2319739	Corriente:	Q El rasgón
Latitud:	701	Fecha Instalación:	may-95
Longitud:	7301	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	1950		

Fuente de Autor

Tabla 4. Información estación La Esperanza CDMB

Nombre de la estación:	La Esperanza	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	CP	Municipio:	Floridablanca
Código:	2319521	Corriente:	Lebrija
Latitud:	704	Fecha Instalación:	sep-79
Longitud:	7302	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	1020		

Fuente de Autor

Tabla 5. Información estación La Mariana CDMB

Nombre de la estación:	La Mariana	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	PM	Municipio:	Tona
Código:	2319074	Corriente:	Lebrija
Latitud:	707	Fecha Instalación:	jun-81
Longitud:	7300	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	2250		

Fuente de Autor

Tabla 6. Información estación Sevilla CDMB

Nombre de la estación:	Sevilla	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	PM	Municipio:	Piedecuesta
Código:	2319075	Corriente:	R. Oro Alto
Latitud:	701	Fecha Instalación:	jul-81
Longitud:	7253	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	1885		

Fuente de Autor

Tabla 7. Información estación Charta CDMB

Nombre de la estación:	Charta	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	CO	Municipio:	Charta
Código:	2319510	Corriente:	Surata
Latitud:	717	Fecha Instalación:	ene-84
Longitud:	7528	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	1935		

Fuente de Autor

Tabla 8. Información estación El Roble CDMB

Nombre de la estación:	El Roble	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	PM	Municipio:	Charta
Código:	2319077	Corriente:	Surata Alto
Latitud:	718	Fecha Instalación:	ago-81
Longitud:	7301	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	2200		

Fuente de Autor

Tabla 9. Información estación El Roble CDMB

Nombre de la estación:	La Flora	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	PG	Municipio:	Bucaramanga
Código:	2319073	Corriente:	Lebrija
Latitud:	705	Fecha Instalación:	ene-72
Longitud:	7307	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	1100		

Fuente de Autor

Tabla 10. Información estación El Gramal CDMB

Nombre de la estación:	El Gramal	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	CO	Municipio:	Tona
Código:	2319516	Corriente:	Tona
Latitud:	712	Fecha Instalación:	oct-84
Longitud:	7258	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	2350		

Fuente de Autor

Tabla 11. Información estación El Lago Alto CDMB

Nombre de la estación:	El Lago Alto	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	PM	Municipio:	Surata
Código:	2319078	Corriente:	Surata Alto
Latitud:	727	Fecha Instalación:	ago-81
Longitud:	7301	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	2700		

Fuente de Autor

Tabla 12. Información estación El Lago Alto CDMB

Nombre de la estación:	Totumos Ptar	Departamento:	Santander
Tipo de Estación:	CO	Municipio:	Piedecuesta
Código:	2319739	Corriente:	Q El Rasgón
Latitud:	701	Fecha Instalación:	may-85
Longitud:	7301	Fecha Suspensión:	-
Elevación(msnm):	1950		

Fuente de Autor

2. RESULTADOS

2.1 LLENADO DE DATOS FALTANTES PARA LAS SERIES DE DATOS

Para el llenado de datos faltantes en series existen diferentes métodos matemáticos y estadísticos, cuyo fin es de consolidar series que sean adecuadas para analizar ya sea realizando una homogenización o una detección de datos extremos (outliers) de las mismas. Este proceso inicia con la recolección de la información es decir la obtención de las series de datos para luego pasar a un análisis exploratorio donde se detectan las series que cuentan con datos faltantes para su posterior corrección es decir el llenado mediante algún método.

Para el caso de este proyecto se analizó las opciones en cuanto a métodos de llenado, se hizo una inspección previa del método US NationalWeatherService, entre otros, para finalmente hacer el llenado de datos que para el caso se US NationalWeatherService se encontró que hay un gran desfase entre los valores considerados como reales y los dados por el método, llegando a la conclusión que este método a pesar de ser comprobado tanto teórica como empíricamente se aplica cuando las estaciones son circundantes es decir tiene una proximidad corta, por lo tanto al contar con estaciones entre municipios vecinos se tomo un método el cual toma la información de 2 o mas estaciones vecinas, utilizando registros de precipitación de las estaciones cercanas, las precipitaciones medias anuales de los periodos a llenar y los periodos de las series completas es decir:

$$P_x = (N_x/2) * (P_a/N_a + P_b/N_b)$$

Donde N_x = Precipitación Media Anual de la serie con datos faltantes

P_a, P_b = Precipitación de la estación con datos completos.

N_a, N_b = Precipitación Media Anual de las estaciones con datos completos.

2.2 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD

La homogenización de la serie de datos se realizó con la plataforma ANSET de Hidrosig, donde se aplicaron diferentes métodos estadísticos en los cuales se tomó un nivel de significancia de 0.05, aparte de esto se hizo una inspección de las series graficándolas; y se realizó la regresión lineal para poder tener otra herramienta aparte de los estadísticos y así poder verificar la tendencia ya sea de las serie de precipitación o de temperatura.

Con la aplicación de los estadísticos se detectaron cambios en la media y en la varianza, así como la no independencia de la de las series, para ello es importante resaltar que para dar un veredicto se debe mirar si los cambios observados pueden estar asociados a algún fenómeno climático llámese niña o niño para que así exista una adecuada concordancia entre lo físico y lo estadístico, teniendo en cuenta que la parte física siempre debe primar sobre la estadística es decir que si la segunda no tiene apoyo sobre la primera puede surgir que haya alguna anomalía en el dato o en la serie de datos.

Para cada estación se presentan los resultados de cambio en la media, cambio en la varianza, tendencia en la media e independencia de la serie, se asignó un número con el cual se indica cual fue el método aplicado y respectivamente la fecha de cambio.

Métodos Aplicados	Número Asignado
Mann- Whitney	1
T Simple	2
T Modificada	3
Prueba de Signo	4
Sumas Acumuladas	5
Abbe	6
Pettit	7
F Simple	1
F Modificada	2
Ansari-Bradley	3
Bartlett	4
Levene	5
T para Tendencias Lineales	1
Hotelling-Pabst	2
Mann-Kendall	3
Sen	4
Corridas	1
Spearman	2
Punto Cambiante	3

Las abreviaturas utilizadas como resultados para algunos métodos fueron las siguientes:

HPCR: Hipótesis de pendiente cero rechazada

NCM: No se detectan cambios en la media

NI: La serie no es independiente

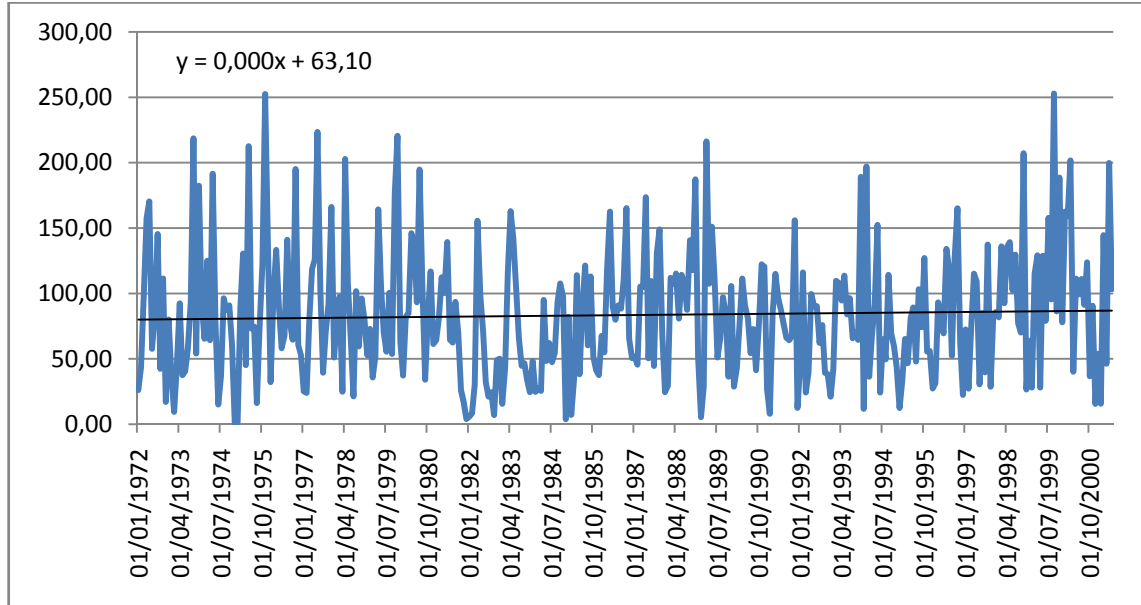
Precipitación

Estación Telecom

Media: 83.393394 mm

Desviación estándar: 49.132835 mm

Figura 2. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Telecom CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media		Jun-81	Jun-81		Nov-98	NCM	NCM
Cambio en la Varianza		Dic-79					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

Para la estación 2319072 ubicada en el municipio de Floridablanca, se detectó cambio en la media para junio de 1981 y noviembre de 1998, la fecha de cambio en la varianza se presentó en diciembre de 1979. La serie presenta una tendencia en la media, al realizar la regresión de la serie de datos se obtuvo una ecuación con pendiente positiva teniendo un crecimiento moderado y leve. Según los

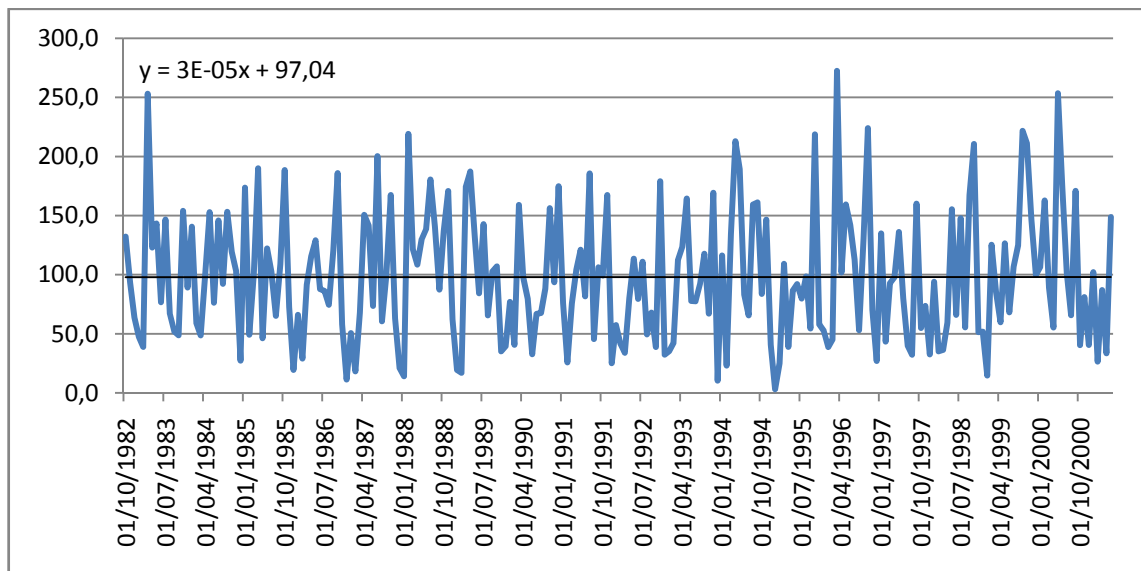
estadísticos aplicados se identifica que la serie no es independiente comprobando la existencia de una tendencia.

Estación Club Campestre

Media: 97.91652 mm

Desviación estándar: 54.834095 mm

Figura 3. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Club Campestre CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Nov-98	Jun-95	Jun-95			NCM	Ene-95
Cambio en la Varianza		Feb-93					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

Fuente de Autor

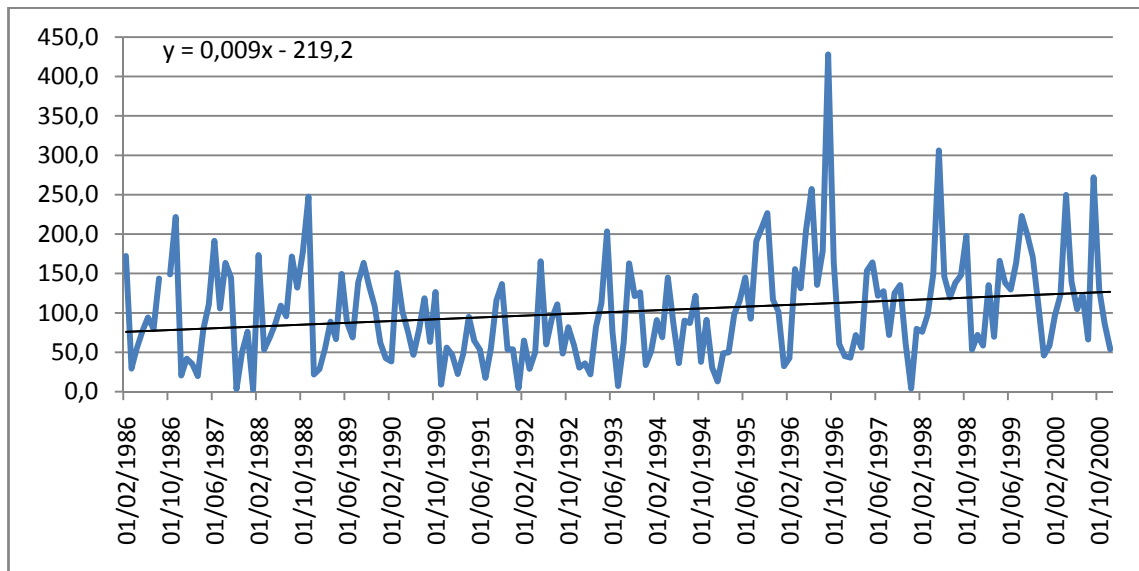
Para la estación 231907 ubicada en el municipio de Floridablanca, se presenta cambio en la media para enero de 1995, junio de 1995 y noviembre de 1998, en cambio en la varianza de presentó para febrero de 1993. Los estadísticos aplicados detectan que la serie es dependiente por lo tanto al realizar la regresión de la serie de tiempo para esta estación se presenta una ecuación con pendiente positiva, corroborando la hipótesis de pendiente cero rechazada.

Estación El Rasgón

Media: 101.44101 mm

Desviación estándar: 64.25539 mm

Figura 4. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación El Rasgón CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Sep-90	Abr-95	Abr-95		NCM	NCM	Ago-95
Cambio en la Varianza		Ago-95					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

Fuente de Autor

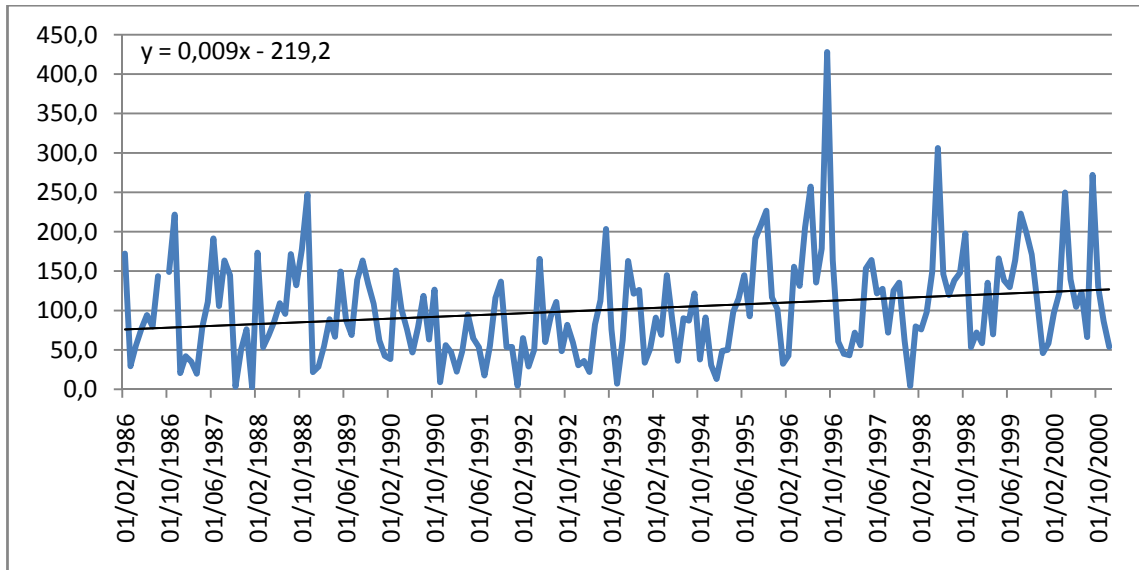
Para la estación 2319739 ubicada en el municipio de Piedecuesta, se presenta cambio en la media para septiembre de 1990, abril y agosto de 1995, el cambio en la varianza coincide con método de Pettit que también detectó cambio para esa misma fecha. La regresión de la serie de tiempo da una ecuación con pendiente diferente de cero muy pequeña pero positiva, los estadísticos que detectan la independencia de la series arrojaron resultados que la serie no es independiente.

Estación La Esperanza

Media: 121.35498 mm

Desviación estándar: 56.57573 mm

Figura 5. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación La Esperanza CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media		Oct-98	Oct-98		NCM	NCM	Feb-91
Cambio en la Varianza		Mar-95					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

Fuente de Autor

Para la estación 2319521 ubicada en el municipio de Floridablanca, se presenta un cambio en la media para el febrero de 1991 y octubre de 1998, el cambio en la varianza se presentó para el mes de marzo de 1995. La ecuación de la regresión lineal de la serie de tiempo da una ecuación con pendiente positiva lo

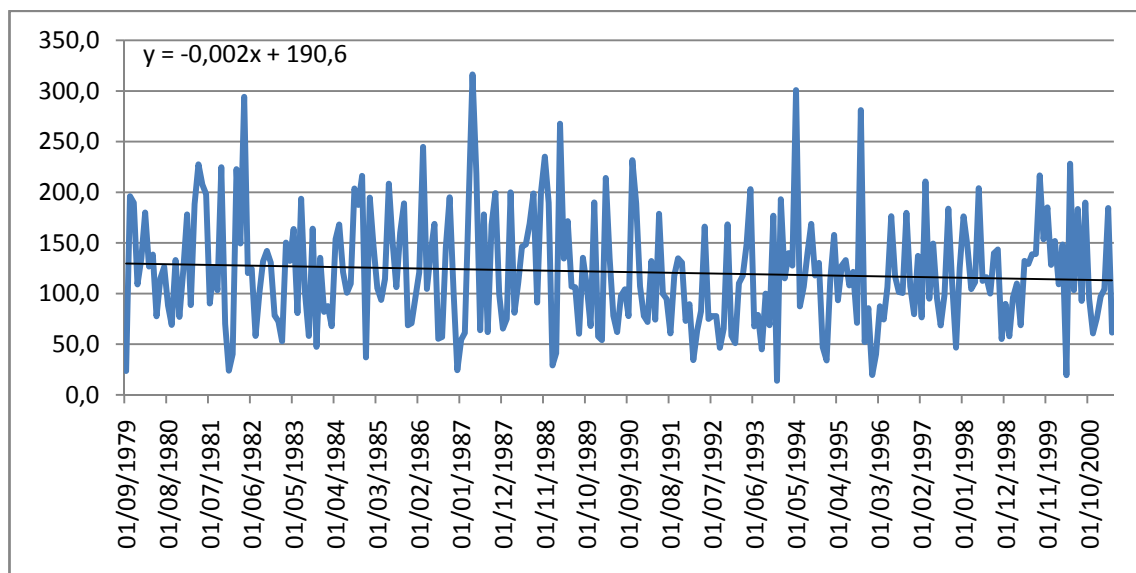
que es acorde con los estadísticos que dice que la hipótesis de pendiente cero es rechazada, se detecta que la serie no es independiente.

Estación La Mariana

Media: 99.73274 mm

Desviación estándar: 63.630154 mm

Figura 6. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación La Mariana CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Feb-87	Jun-87	Jun-87	Jun-81	NCM	NCM	Jul-85
Cambio en la Varianza		May-83		May-83			
Tendencia en Media	HPCR	HPCR					
Independencia	NI	NI	NI				

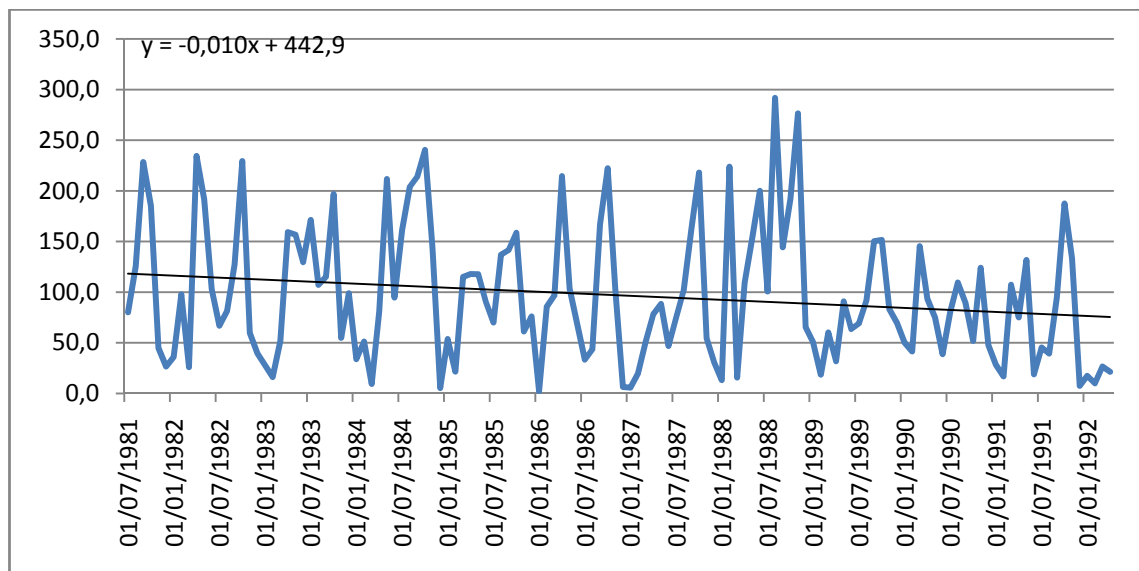
Para la estación 2319074 ubicada en el municipio de Tona, se presenta cambio en la media para julio de 1985, febrero de 1987 y junio de 1987, la fecha de cambio en la varianza se da para mayo de 1983. La ecuación de la regresión de la serie da una pendiente negativa, presentándose una tendencia en la serie y corroborando la no independencia en los datos para esta estación.

Estación Sevilla

Media: 96.82003 mm

Desviación estándar: 66.94971 mm

Figura 7. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Sevilla CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Jun-88	Jun-88	Jun-88		NCM	NCM	Mar-88
Cambio en la Varianza		Jun-88		Jun-88			
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

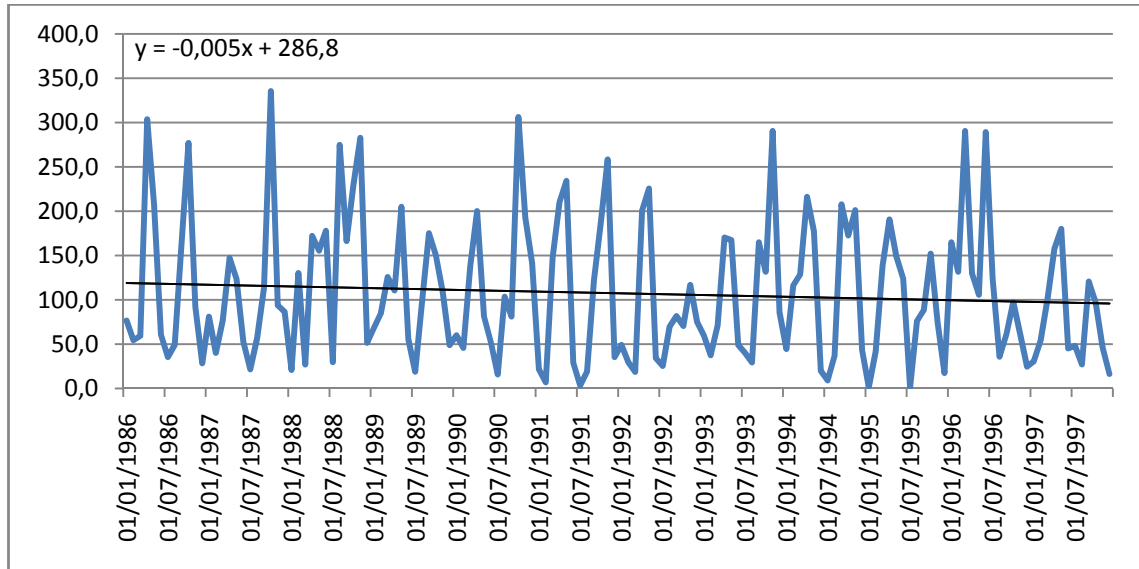
Para la estación 2319075 ubicada en el municipio de Piedecuesta, se presentaron cambios en la media para Junio de 1988 y marzo de 1988, el cambio en la varianza para los estadísticos aplicados se presentaron para junio de 1988, cambios que coinciden con métodos estadísticos que detectaron los cambios en la media. Para la regresión de la serie se presentó una ecuación con pendiente negativa lo cual coincide con la presencia de tendencia que se obtuvo, además de esto se presenta que la serie no es independiente.

Estación Charta

Media: 107.372215 mm

Desviación Estándar: 78.389565 mm

Figura 8. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Charta CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Dic-88	Dic-88	Dic-88	Jun-86	NCM	NCM	Ene-89
Cambio en la Varianza		Dic-88		Dic-88			
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

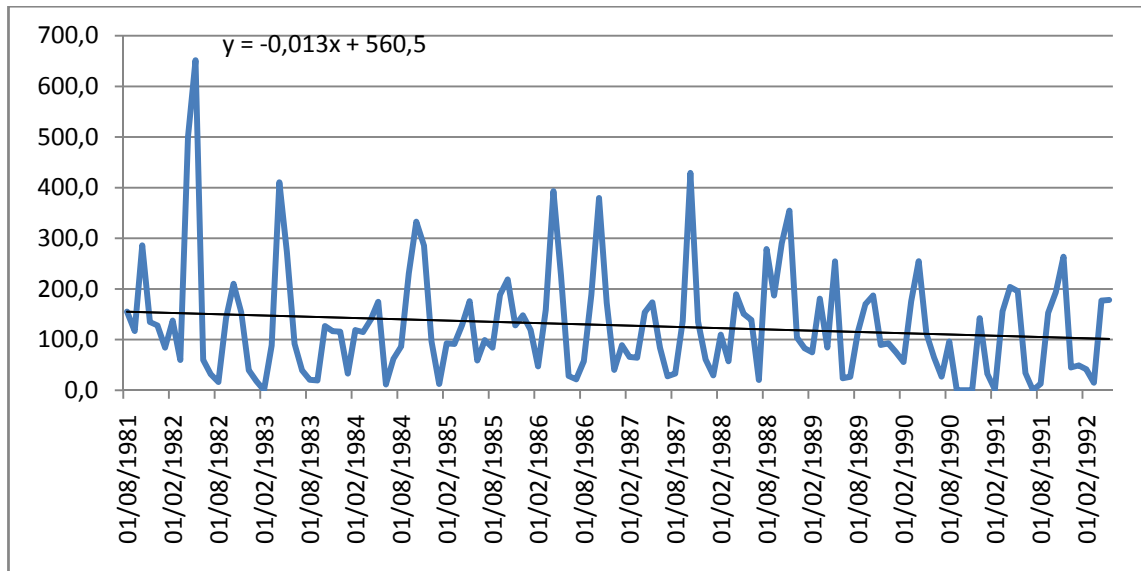
Para la estación 2319510 ubicada en el municipio de Charta, se detectaron cambio en la media para junio de 1986, diciembre de 1988 y 1989, el cambio en la varianza se presentó para diciembre de 1988, valor que coincide con el que se presenta en cambio en la media, aquí se presenta una ecuación de regresión lineal con pendiente negativa conforme con el resultado de hipótesis de pendiente cero rechazada, la serie no es independiente.

Estación El Roble

Media: 131.19846 mm

Desviación estándar: 108.56695 mm

Figura 9. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación El Roble CDMB



Fuente de Autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	May-86	May-88	May-88	Nov-81	NCM	NCM	Jul-86
Cambio en la Varianza		Ago-83		Ago-83			
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

Para la estación 2319077 ubicada en el municipio de Charta, presenta cambio en la media para noviembre de 1981, julio de 1986 y mayo 1988, para los estadísticos

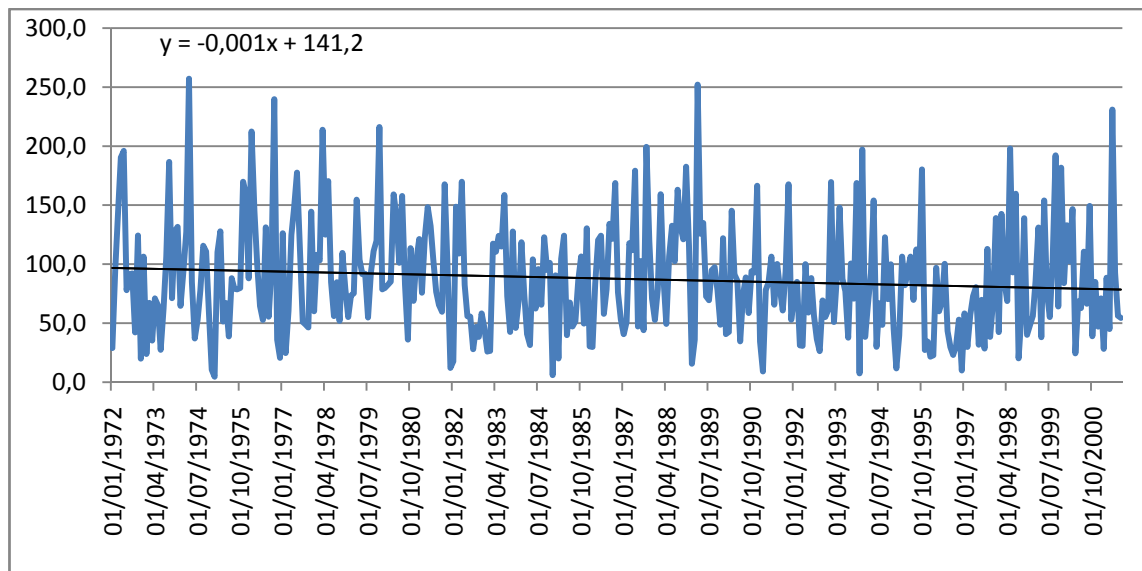
aplicados se detectó cambio en la varianza para agosto de 1983, la ecuación de regresión lineal de la serie tiene una pendiente negativa, es decir se presenta una tendencia en la serie y se encuentra una no independencia de la misma.

Estación La Flora

Media: 87.64711 mm

Desviación estándar: 47.691658 mm

Figura 10. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación La Flora CDMB



Fuente de autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media		Dic-81	Dic-81		NCM	NCM	Dic-86
Cambio en la Varianza		Dic-79					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI					

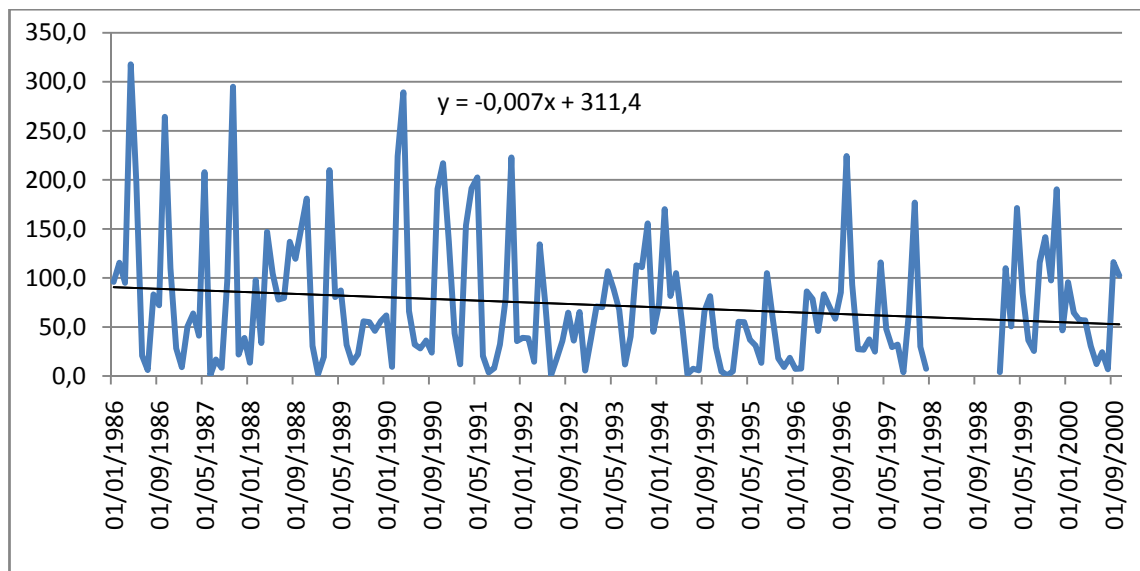
Para la estación 2319073 ubicada en el municipio de Bucaramanga, se detectan cambios en la media para diciembre de 1981 y 1986. El cambio en la varianza se presenta para diciembre de 1979. La regresión lineal de la serie da una ecuación con pendiente diferente de cero y negativa, estadístico aplicado para tendencia en la media da una hipótesis de pendiente cero rechazada acorde a los resultados dados por la regresión, la serie por lo tanto no es independiente.

Estación El Gramal

Media: 72.61568 mm

Desviación estándar: 65.97886 mm

Figura 11. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación El Gramal CDMB



Fuente de autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Jun-91	Jun-91	Jun-91	Jun-86	NCM	NCM	Ene-90
Cambio en la Varianza		Dic-81		Dic-81			
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

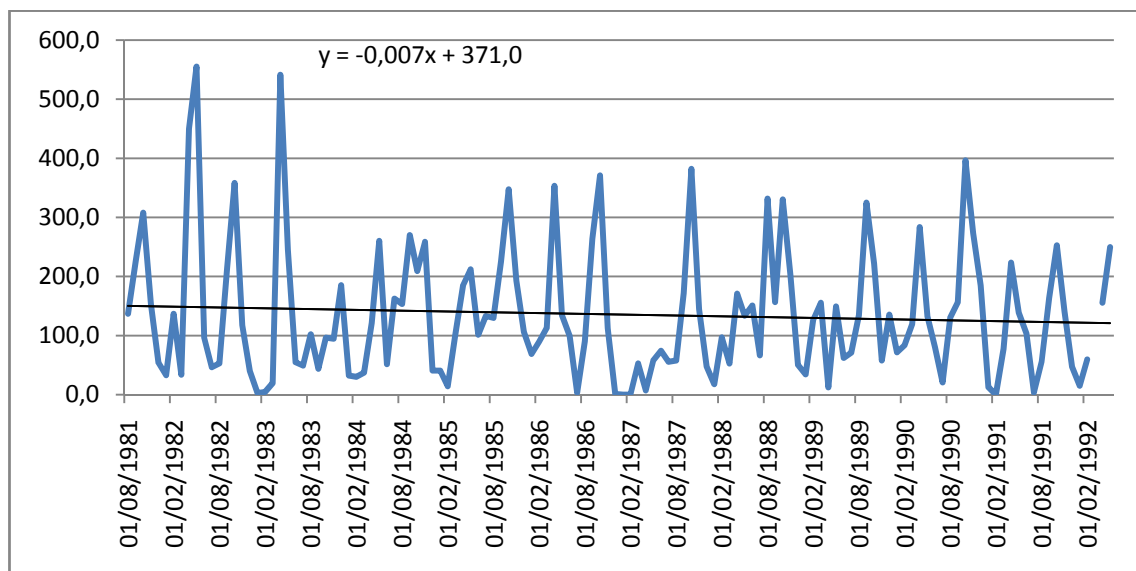
Para la estación 2319516 ubicada en el municipio de Tona, se presentaron cambio en la media para enero junio de 1986, enero de 1990 y junio de 1991, se detecto cambios en la varianza para diciembre de 1981. La regresión lineal de la serie da una pendiente diferente de cero, pendiente negativa acorde al resultado dado por el estadístico el cual rechaza la hipótesis de pendiente cero, la serie para esta estación es no independiente.

Estación Lago Alto

Media: 135.63025 mm

Desviación estándar: 113.638855 mm

Figura 12. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Lago Alto CDMB



Fuente de autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Oct-85	Abr-86	Abr-86	Nov-81	NCM	NCM	Jul-88
Cambio en la Varianza		Sep-83		Sep-83			
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

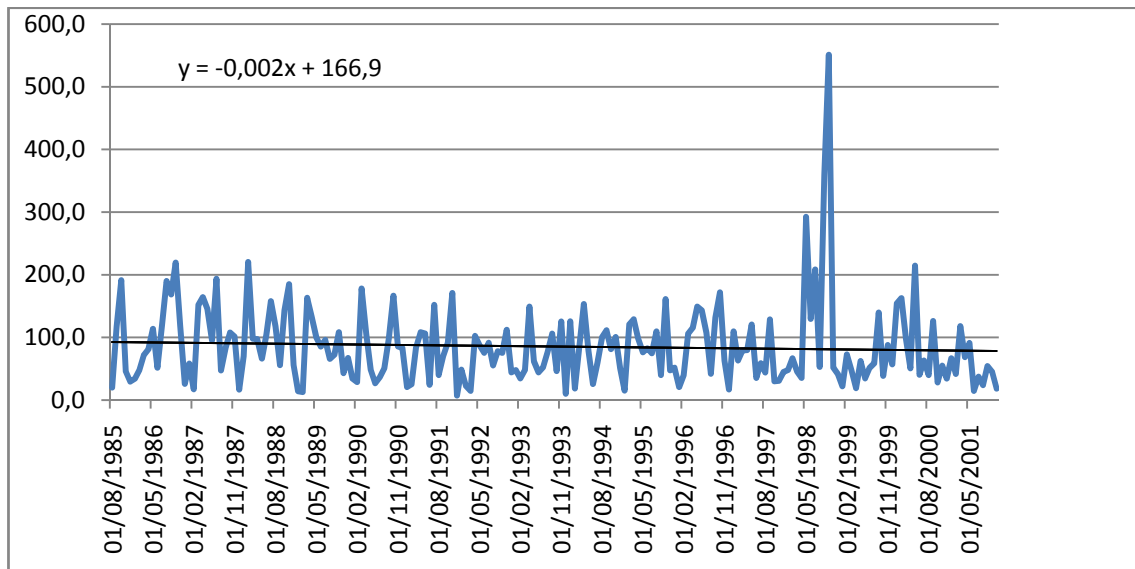
Para la estación 2319078, ubica en el municipio de Surata, se presentan cambios en la media para noviembre de 1981, octubre de 1985, julio de 1988 y abril de 1986. Los estadísticos aplicados arrojan cambios en la varianza para septiembre de 1983. La ecuación de la regresión lineal da una pendiente diferente de cero negativa. La serie no es independiente.

Estación Totumas Ptar

Media: 85.609184 mm

Desviación estándar: 64.13254 mm

Figura 13. Línea de Tendencia Serie de Datos de Precipitación Estación Totumas Ptar CDMB



	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Feb-89	Feb-89	Feb-89			NCM	Ene-97
Cambio en la Varianza		Mar-97					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

Fuente de autor

Para la estación 2319739 ubicada en el municipio de Piedecuesta, se detectó cambios en la media para enero de 1997 y febrero de 1989, el cambio en la varianza se para el mes de marzo de 1997, la regresión de la serie da datos da una ecuación con pendiente negativa acorde con el estadístico de tendencia en la media que da un rechazo a la hipótesis de pendiente cero, se obtiene que la serie no es independiente.

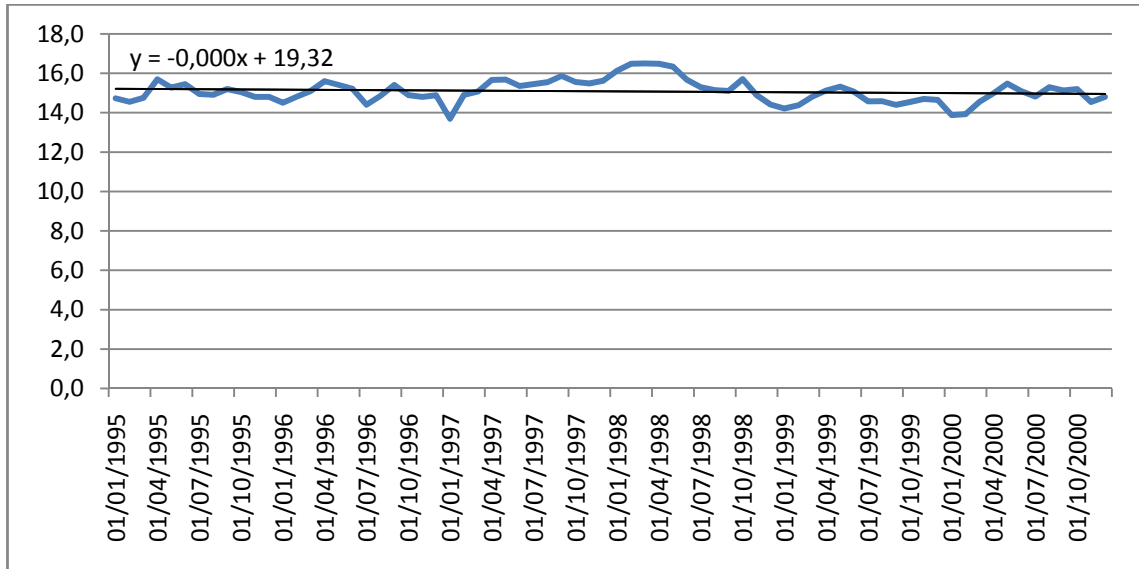
Temperatura

Estación El Rasgón

Media: 15.095453 °

Desviación estándar: 0.5998543 °

Figura 14. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación El Rasgón CDMB



Fuente de autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Nov-98	Nov-98	Nov-98	Mar-97	Nov-98	NCM	Feb-98
Cambio en la Varianza		Ene-97	Ene-97	Ene-97			
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

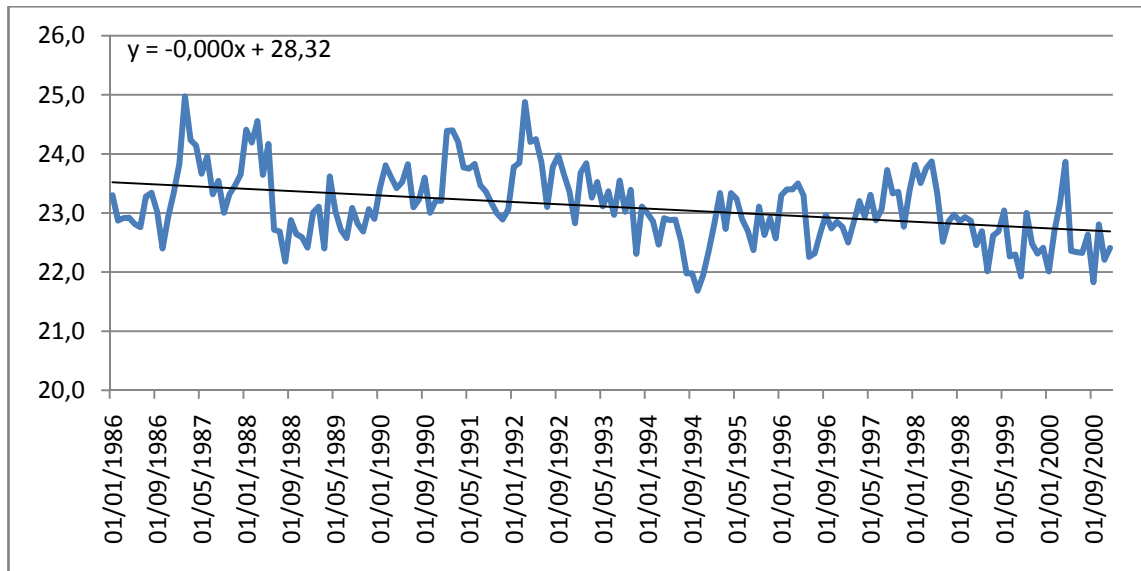
Para esta estación de temperatura el Rasgón se presentan cambios en la media para marzo de 1997 y noviembre 1998, los cambios en la varianza según los estadísticos aplicados se presentan para enero de 1997. A la serie de datos se le aplico una regresión lineal que arroja una ecuación con pendiente negativa, la serie es no independiente.

Estación La Esperanza

Media: 23.101149 °

Desviación estándar: 0.62038916 °

Figura 15. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación La Esperanza CDMB



	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Nov-93	Nov-93	Nov-93		Nov-93	NCM	Feb-91
Cambio en la Varianza		Ene-95					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

Fuente de autor

Para esta estación se cuenta con un cambio en la media para febrero 1991 y noviembre 1993, los cuales dan un comportamiento con poca variabilidad a la

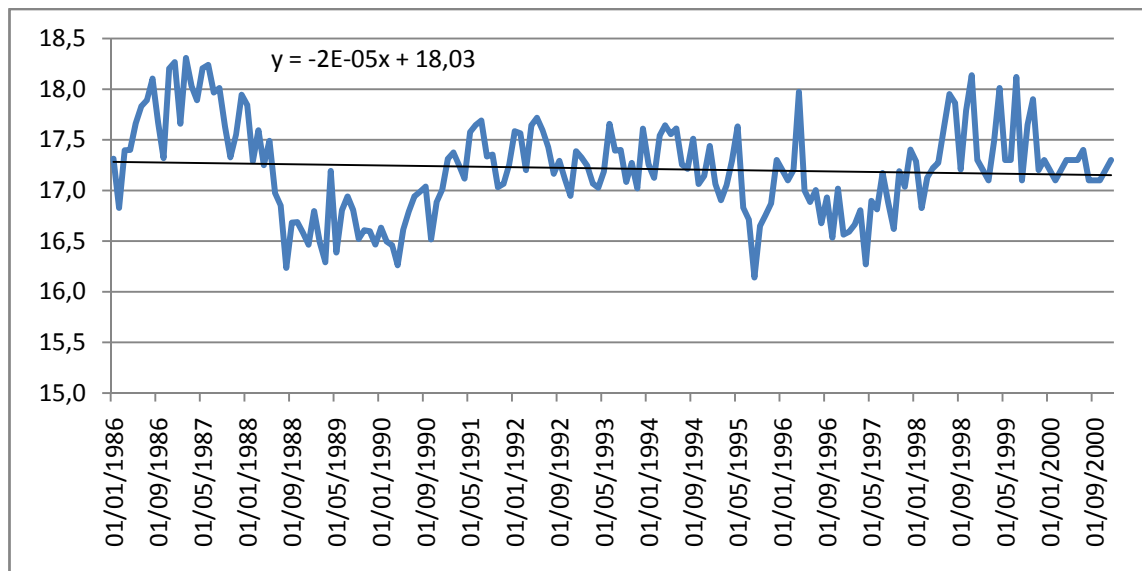
serie de datos de acuerdo a los estadísticos aplicados, el cambio en la varianza se presenta para enero de 1995 y la regresión lineal arroja una ecuación con pendiente diferente de cero y negativa. Según los estadísticos aplicados se identifica que la serie no es independiente.

Estación Charta

Media: 17.217224 °

Desviación estándar: 0.45560807 °

Figura 16. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación Charta CDMB



Fuente de autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Oct-89	Oct-89	Jun-81		Jun-95	NCM	
Cambio en la Varianza	Jun-90	Jun-90					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

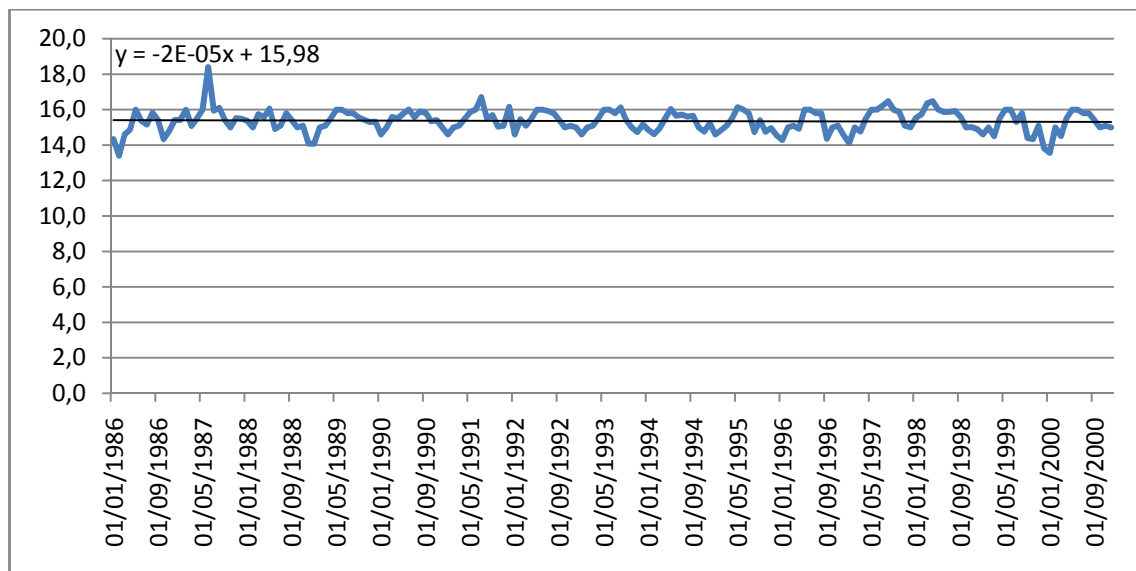
Para esta estación se presentó cambio en la media para octubre de 1989, junio de 1981 y 1995, los métodos estadísticos que detectan cambio en la varianza da fecha de cambio para junio de 1990, se realizó la regresión lineal a la serie da datos obteniendo una ecuación con pendiente negativa, la hipótesis de pendiente cero es rechazada y la serie no es no independiente.

Estación Gramal

Media: 15.355555 °

Desviación estándar: 0.6259938 °

Figura 17. Línea de Tendencia Serie de Datos de Temperatura Estación El Gramal CDMB



Fuente de autor

	1	2	3	4	5	6	7
Cambio en la Media	Oct-93	Oct-93	Oct-93	Oct-93	NCM		Jul-90
Cambio en la Varianza		Oct-89					
Tendencia en Media	HPCR						
Independencia	NI	NI	NI				

En esta estación se detecto cambio en la media para julio de 1990 y octubre de 1993, los cambio en la varianza se detecta para la fecha de octubre de 1989, se realizo la regresión lineal de la serie de datos obteniendo un ecuación con pendiente diferente de cero lo que corrobora el estadístico aplicado en la prueba de tendencia en la media la cual rechaza la hipótesis de pendiente cero. La serie no es independiente.

2.3 DETECCIÓN DE DATOS EXTREMOS

Los datos extremos son valores comunes que se presentan en la series de datos, estos valores pueden dar características de un comportamiento no usual ya sea por la presencia de un fenómeno climatológico o por la toma errada del dato, es importante detectar la presencia de esos datos dentro de la información de series de tiempo, mas cuando es empleado por entidades como para el caso de este proyecto se desea analizar como es la CDMB.

A partir de estos se realizó un análisis de la series graficándose para detectar posible presencia de datos extremos (outliers) en la series, para luego aplicar diferentes estadísticos que permitan la real detección de este tipo de datos y poder sacar conclusiones al respecto. Para la detección de datos extremos (outliers), se trabajo con el software Hidrosig mediante su plataforma ANSET en donde se cuenta con diversos métodos para la detección datos extremos (outliers) ya se incluyendo los mismo o no, es decir se cuenta con estadísticos en los cuales se puede incluir outliers o no incluir outliers, para ello se aplicaron las pruebas que encajaban dentro de los parámetros que se cuenta con la series de datos, como por ejemplo el numero de datos, nivel de significancia que para ello se tomo de 0.05, y en el caso de algunas pruebas donde se exige la cantidad de posibles outliers se colocaron valores que sean acordes con la inspección y detección que se hizo a la serie de manera exploratoria.

Tabla 13. Detección de Valores Extremos: Prueba Normal de Asimetría, Kandel y Last, Rango Normal

Código Estación	Variable	Prueba Normal de Asimetría	Kandel Y Last	Rango Normal
2319072	Precipitación Mensual	2	0	13
2319079	Precipitación Mensual	1	0	6
2319739	Precipitación Mensual	2	0	6
2319521	Precipitación Mensual	3	0	12
2319074	Precipitación Mensual	3	0	2
2319075	Precipitación Mensual	2	0	0
2319510	Precipitación Mensual	0	0	0
2319077	Precipitación Mensual	2	0	2
2319073	Precipitación Mensual	4	0	13
2319516	Precipitación Mensual	4	0	3
2319078	Precipitación Mensual	3	0	2
2319739	Precipitación Mensual	3	0	3
El Rasgon	Temperatura Media Mensual	3	0	3
La Esperanza	Temperatura Media Mensual	3	0	9
Charta	Temperatura Media Mensual	0	0	14
El Gramal	Temperatura Media Mensual	4	0	13

Fuente de autor

De acuerdo con las pruebas estadísticas aplicadas se detectaron datos extremos los cuales varían según las pruebas; en el caso de la Prueba Normal de Asimetría detectaron valores por arriba de la media, numero de valores que se obtuvieron no fueron elevados. Para la Prueba de Kandel y Last no se detectaron valores extremos. Para la prueba de Rango Normal, se detectaron valores extremos tanto por arriba de la media como por abajo, los valores por arriba de la media coinciden en la mayoría de casos con los detectados por la Prueba Normal de Asimetría, los valores extremos por debajo de la media presentaron un aumento significativo a comparación de los valores por arriba de la media.

CONCLUSIONES

Dentro del análisis de homogeneidad realizado a las diferentes estaciones se detectó que todas presentan cambios en la media y en la varianza, cambios que varían de acuerdo al estadístico aplicado y en algunos casos estos cambios no tiene soporte físico que valide el mismo; analizando las series y los resultados obtenidos se puede observar que se presenta homogeneidad parcial es decir algunas estaciones cuenta con datos anómalos que también pueden ser asociados a causas habituales en el proceso de recolección de la información.

Las estaciones Telecom, Club Campestre y El Rasgón del área metropolitana presentan una tendencia positiva y las estaciones la Esperanza, Sevilla, la Flora tendencia negativa. Para las estaciones que se encuentran dentro del área metropolitana de Bucaramanga se estimó un rango de tiempo común, dentro de este rango se observa una tendencia negativa. La tendencia para las estaciones ubicadas en Tona, Charta y Surata es decreciente, debido a esto se puede concluir que en general se presenta una tendencia negativa para todas las series de datos de las estaciones de trabajo. La tendencia para las series de datos de temperatura es decreciente presentando similitud en el rango de datos suministrados por la CDMB.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Hidrosg se observan fechas comunes de cambio en media y varianza para los años de 1981, 1986, 1988, 1995 y 1998, sin importar que se presente semejanza en los resultados para estaciones las cuales estén dentro o fuera del área metropolitana.

Es indispensable tener en cuenta que muchos cambios que se detectan ya sea en media o varianza deben tener un soporte físico, es decir el cambio debe estar respaldado por un cambio climático llámese fenómeno del niño o niña, ante todo la

parte física prima sobre la estadística y por lo tanto no se puede dar una prioridad a esta última cuando la realidad o la historia climatológica dice otra, también es claro resaltar que dentro de los efectos físicos de cambio pueden presentarse unos a menor escala es decir la presencia de microclimas en la región que generan cambios abruptos. Así mismo la influencia de las actividades antrópicas del hombre genera cambios en clima los cuales se ven reflejados en la precipitación, temperatura, caudales etc.

Para las series de datos de las estaciones de trabajo se realizó un análisis exploratorio importante para identificar posibles errores de entrada, así mismo la detección de la ausencia de datos faltantes que en pocas estaciones fueron significativos y por lo tanto indujeron a la búsqueda de un adecuado método de llenado, por tal motivo es indispensable que se escoja un método que vaya acorde con la realidad de la información que se está trabajando y así se logran obtener series completas aptas para su posterior análisis, esto da una clara evidencia que en cuanto a la parte de datos faltantes no se encontró un nivel significativo a nivel de todas las series pero si se detectó ausencia de datos de un año en una estación.

La detección de datos extremos (outliers) es un proceso que requiere la utilización adecuada de los métodos estadísticos que identifiquen la real presencia de este tipo de datos, por ello se debe aplicar métodos que se ajusten al tipo de series de trabajo con que se cuenta ya que existen pruebas que tienen limitantes en cuanto al número de datos de la serie y que cuenta con un buen comportamiento, por ello aquí se trabajó con pruebas de Rango Normal, Kadel y Last, Normal de Asimetría que son adecuadas a los parámetros de la información con la que se tiene detectándose datos extremos consistentes en la mayoría de casos con el análisis exploratorio que se hizo de la serie.

La calidad de la información hidrometeorológica se evalúa mediante el análisis de homogeneidad de las series, existen diferentes causas de la no homogeneidad de las series hidroclimáticas como son la presencia de datos extremos y modificaciones en el ambiente; que hacen se presenten cambios en media y varianza o la presencia de datos anómalos, al mismo tiempo actividades del hombre y transformaciones dadas por el desarrollo urbano han logrado que se presenten comportamientos inesperados y tendencias. Debido a esto es importante realizar un cálculo de tendencia o regresión de las series para analizar de una forma más clara como es el comportamiento de la serie y si esta presenta pendientes muy marcadas lo cual se puede identificar como una anomalía en toda la serie o como un comportamiento no propio de la variable de estudio.

La presencia de outliers se atribuye directamente a efectos como: el cambio en el tipo de instrumentos de medida, defectos en los instrumentos o mal estados de los mismos, errores de medición y también se define como una posible causa las condiciones hidrológicas extremas que se dan por la presencia de fenómenos como la niña y el niño.

Cambios climáticos, presencia de fenómenos y micro climas pueden generar cambios en la series de datos de una manera brusca y verse como un datos extremo que muchas veces si no se asocia con los factores mencionados anteriormente puede generar la conclusión que se cuenta con un dato anómalo, por ello es adecuado consultar información de tipo climatológica para por dar un veredicto adecuado de la clasificación y no incurrir en falsedades de este tipo.

Durante muchos años se ha tenido la tendencia de buscar la forma de transformar la hidrología , de manera que esta se logren acomodar a modelos estocásticos, sin importar la verdadera procedencia de sus comportamientos , es decir llegando a interferir en su naturaleza, dando tratos forzosos como es el claro ejemplo la estacionareidad de las series hidroclimatológicas de Colombia para que así se pueda dar uso a las herramientas estadísticas; tan solo logrando una similitud de

su real efecto natural cuando en realidad se debería hacer una inversa metodología, para lograr que modelos se acomoden al comportamiento dinámico de la física natural de las series hidrológicas.

BIBLIOGRAFIA

ANTONIO BARRERA ESCODA, técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España, Trabajo para la obtención del diploma de estudios avanzados, Programa de Doctorado de Astronomía y Meteorología, 2004.

CARLOS A.PEREA,JORGE M. LAMUS, Estudio De la Precipitación en el área Metropolitana de Bucaramanga,Trabajo de grado para optar el titulo de ingeniero civil,UIS-Bucaramanga Colombia,2005.

Carlos A.PEREZ,Germán POVEDA, Oscar J. MESA,Luis F. CARVAJAL,AndresOCHOA;Evidencias de cambio climático en Colombia:tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual.1998

CHOW,Ven T,MAIDMENT,D,MAYS,L. Hidrología Aplicada. Bogotá:McGraw-Hill,1993

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB, Plan de Gestión Ambiental Regional 2004-2013 Bucaramanga –Colombia.

DUARTE REYES,D. R; Estudio de valores extremos de precipitación en la cuenca del Rio de oro , Tesis para optar el titulo de ingeniero civil,UIS-Bucaramanga Colombia,2002.

HIDROSIG java versión 3.0 Beta, Software, GNU General PublicLicense (GPL), 2005.

MONSALVE SAENZ, G, hidrología en la ingeniería, segunda edición, Editorial escuela colombiana de ingeniería, Bogotá-Colombia, 1999.

MONTGOMERY, Douglas. Probabilidad y Estadísticas Aplicadas a la Ingeniería. Bogotá: McGraw-Hill, 1996.

MURRAY R. SPIEGEL Ph.D. Traducido por: JAIRO OSUNA SUAREZ Bogotá, Colombia Teoría y problemas de probabilidad y estadística.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Fundamentos de hidrología, Facultad de Minas, Medellín-Colombia, 1970.

Escuela de Geociencias y Medio Ambiente Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín HidroSIG Versión 3.0 Beta Manual de Usuario 2003.

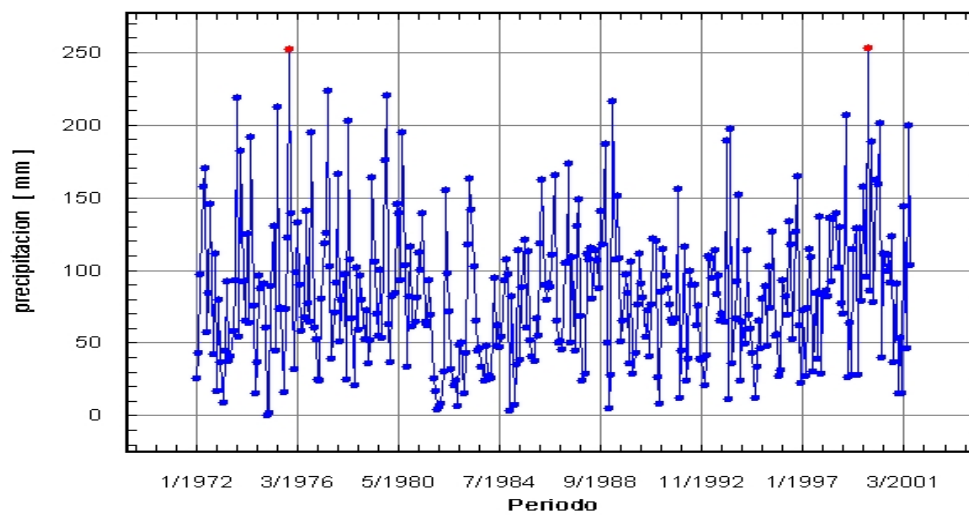
Villate C., Jose J., Influencia de los Fenómenos Macroclimáticos y Calentamiento Global en la Hidrología del Altiplano Cundiboyacense. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil) Universidad de los Andes. 2004.

Walpole, R. E. & Myers, R. H. Probabilidad y estadística. Cuarta edición. McGrawHill. Mexico D.F. (Mex.). 1999.

ANEXOS

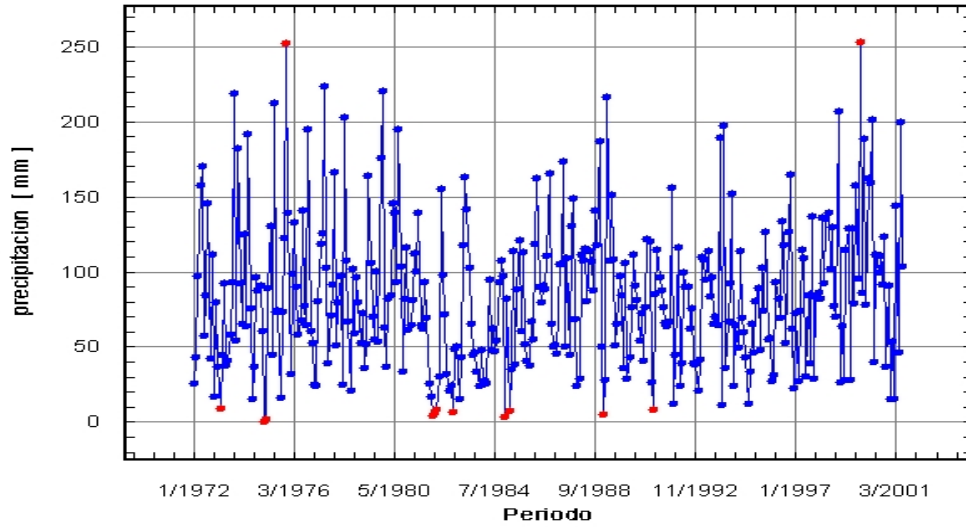
ANEXO 1. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación Telecom CDMB

[2319072 Telecom precipitacion 01/01/1972 01/01/2001 1 354]



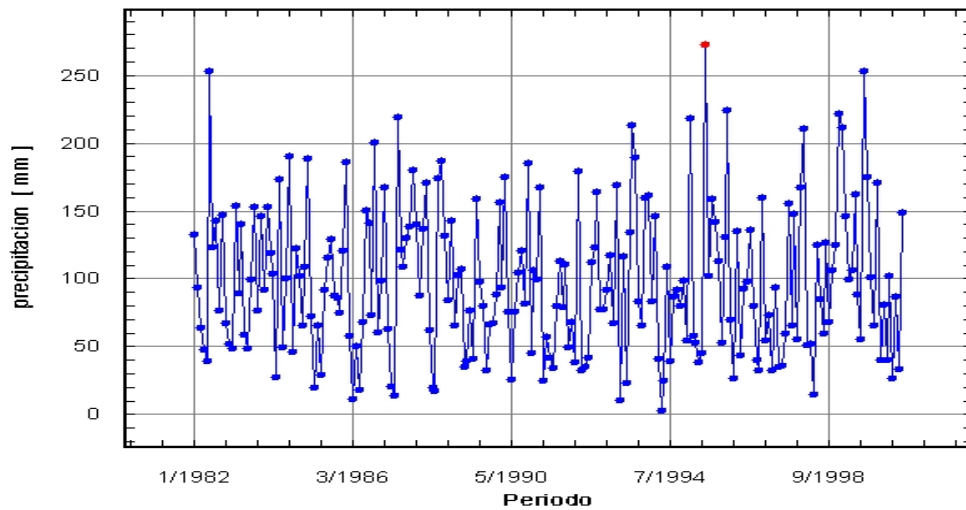
ANEXO 2. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Telecom CDMB

[2319072 Telecom precipitacion 01/01/1972 01/01/2001 1 354]



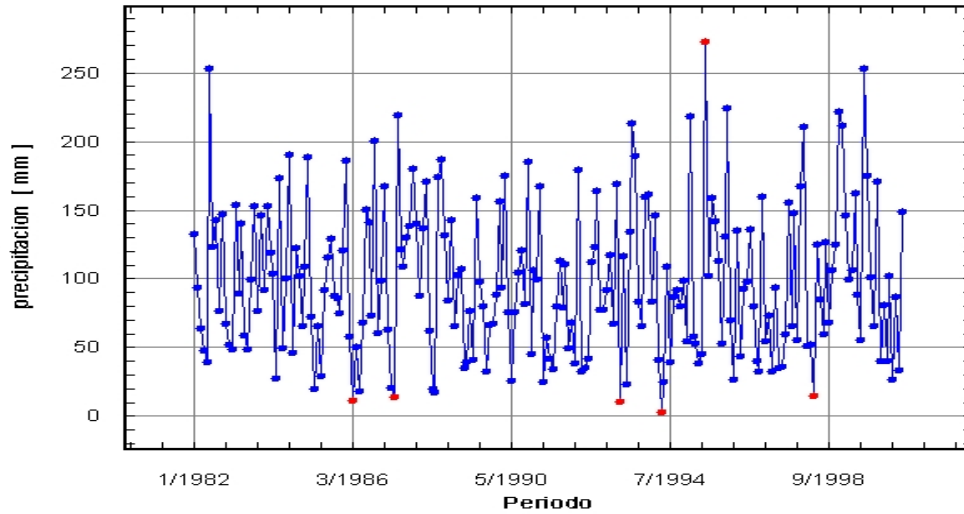
ANEXO 3. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación Club Campestre CDMB

[2319079 clubcampestre precipitacion 01/10/1982 01/05/2001 1 22]



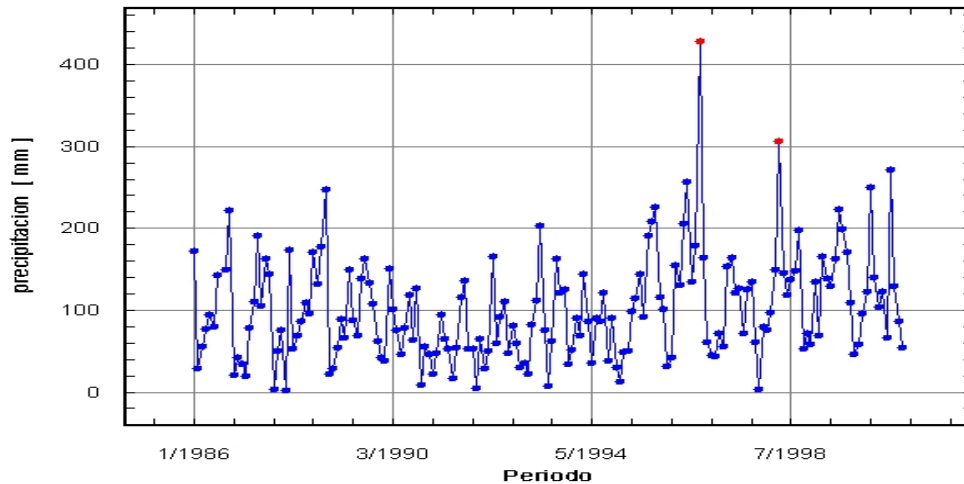
ANEXO 4. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Club Campestre CDMB

[2319079 clubcampestre precipitacion 01/10/1982 01/05/2001 1 22]



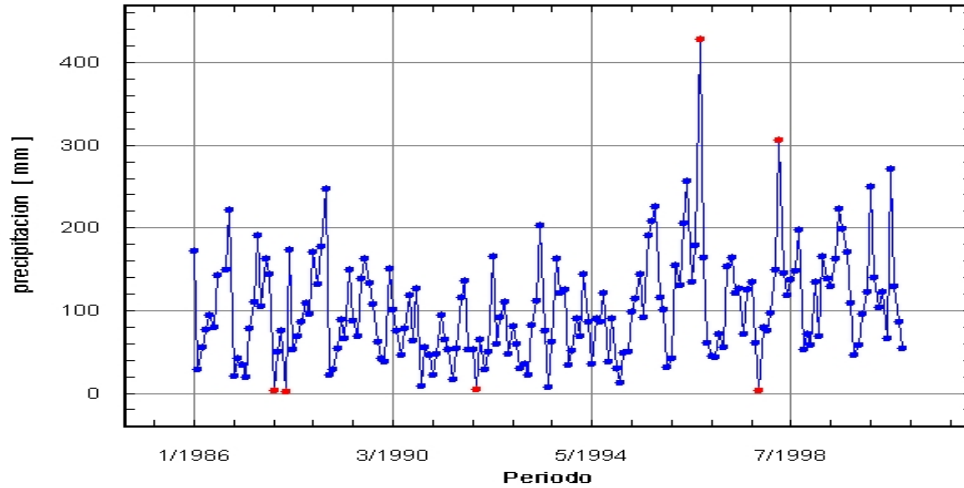
ANEXO 5. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación El Rasgón CDMB

[2319739 Elrasgon precipitacion 01/02/1986 01/12/2000 1 179]



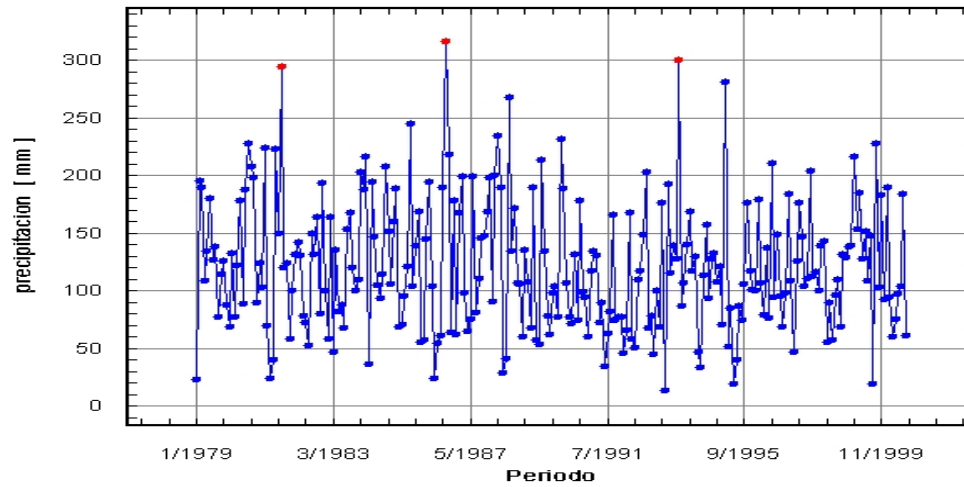
ANEXO 6. Datos Extremos Precipitación. Prueba RangoNormal Estación El Rasgón CDMB

[2319739 Elrasgon precipitacion 01/02/1986 01/12/2000 1 179]



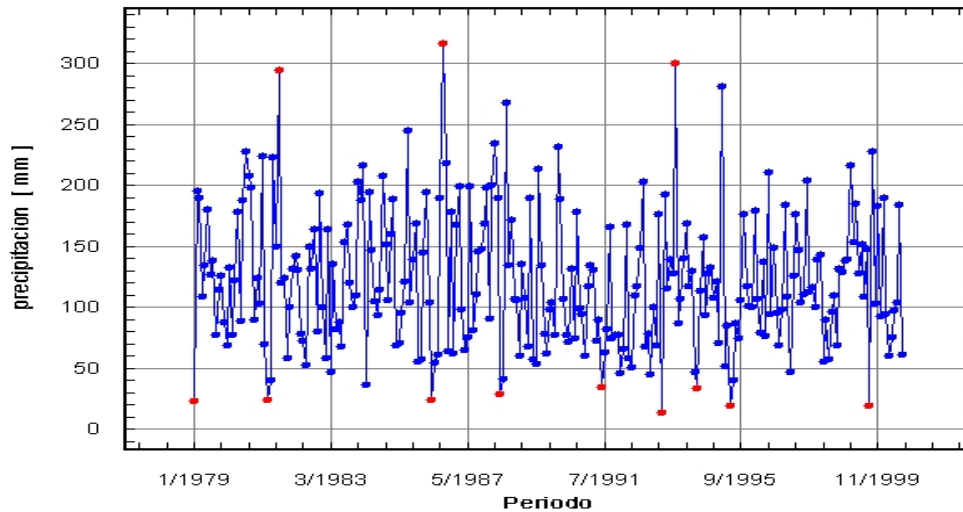
ANEXO 7. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación La Esperanza CDMB

[2319521 Laesperanza precipitacion 01/09/1979 01/04/2001 1 266]



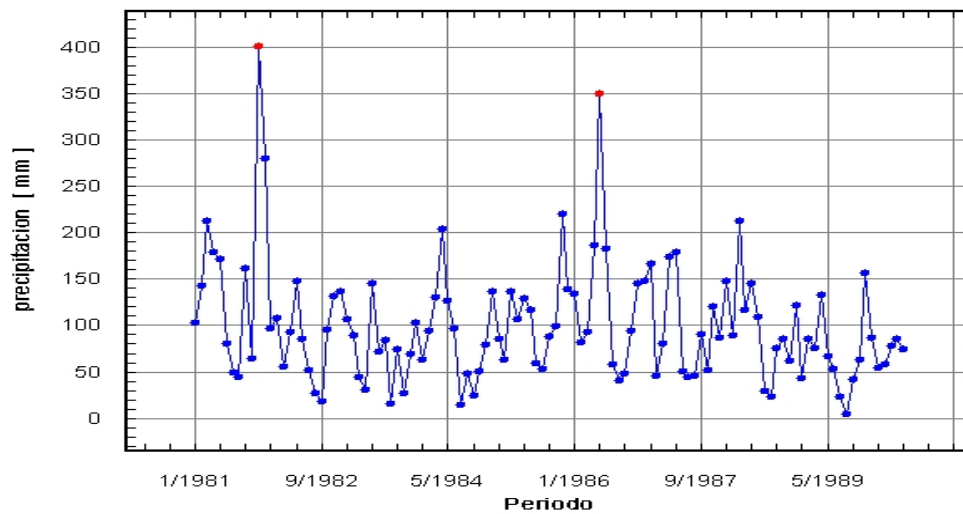
ANEXO 8. Datas Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación La Esperanza CDMB

[2319521 Laesperanza precipitacion 01/09/1979 01/04/2001 1 260



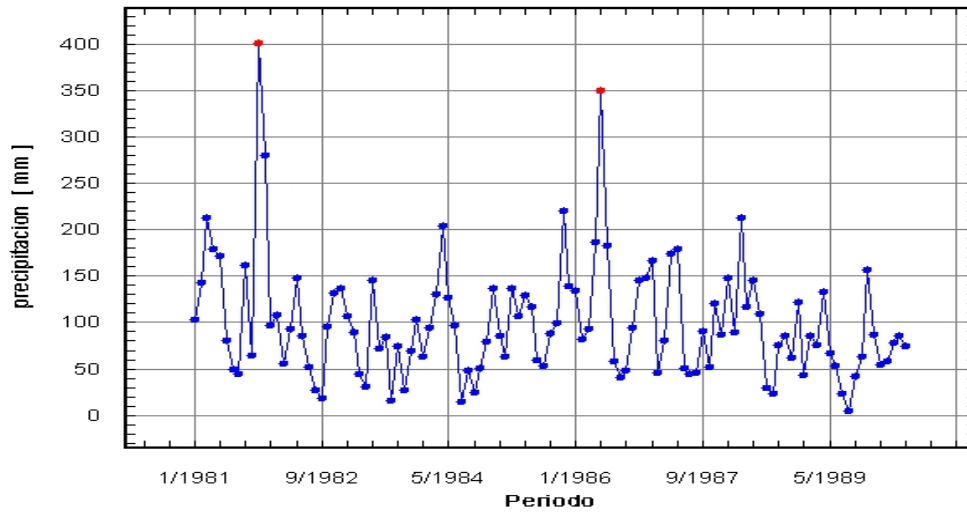
ANEXO 9. Datas Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación La Mariana CDMB

[2319074 Lamariana precipitacion 01/06/1981 01/10/1990 1 113



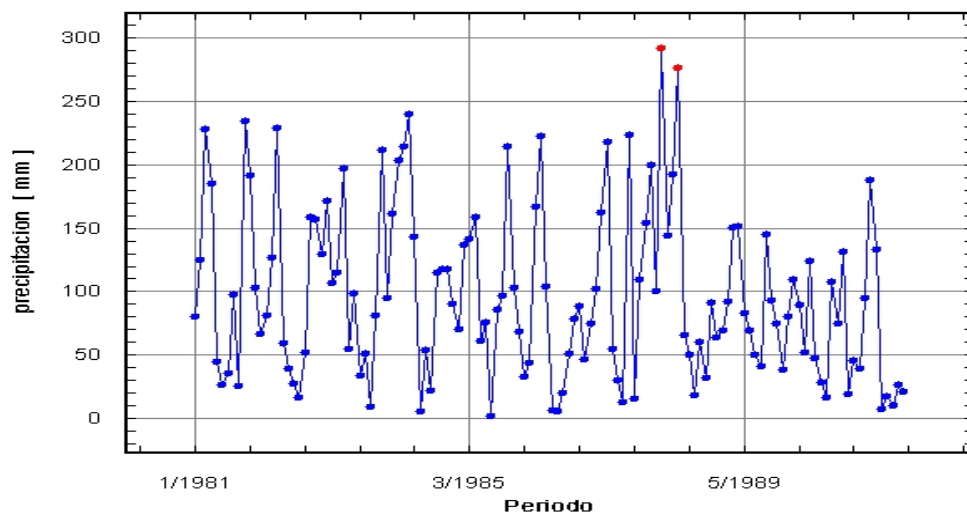
ANEXO 10. Datas Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación La Mariana CDMB

[2319074 Lamariana precipitacion 01/06/1981 01/10/1990 1 113]



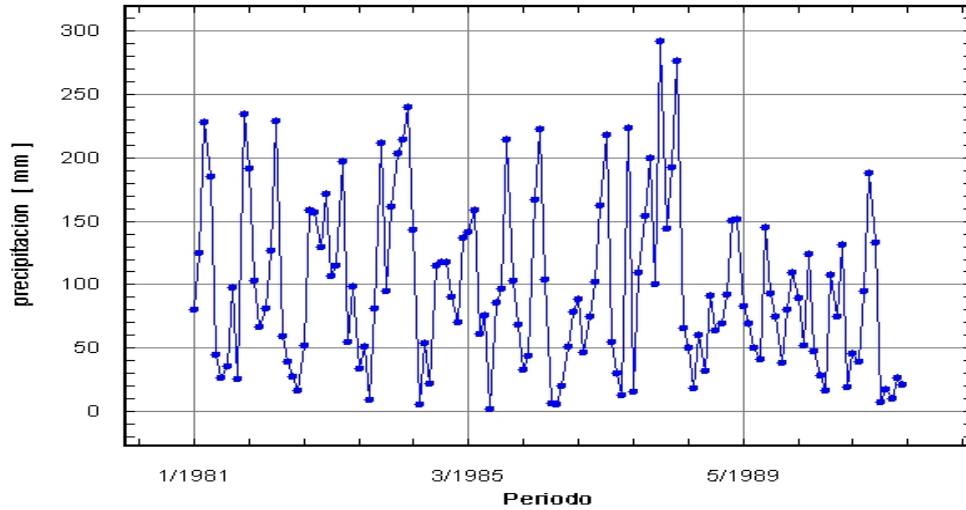
ANEXO 11. Datas Extremos Precipitación. Prueba Normal de Asimetría Estación Sevilla CDMB

[2319075 Sevilla precipitacion 01/07/1981 01/04/1992 1 130]



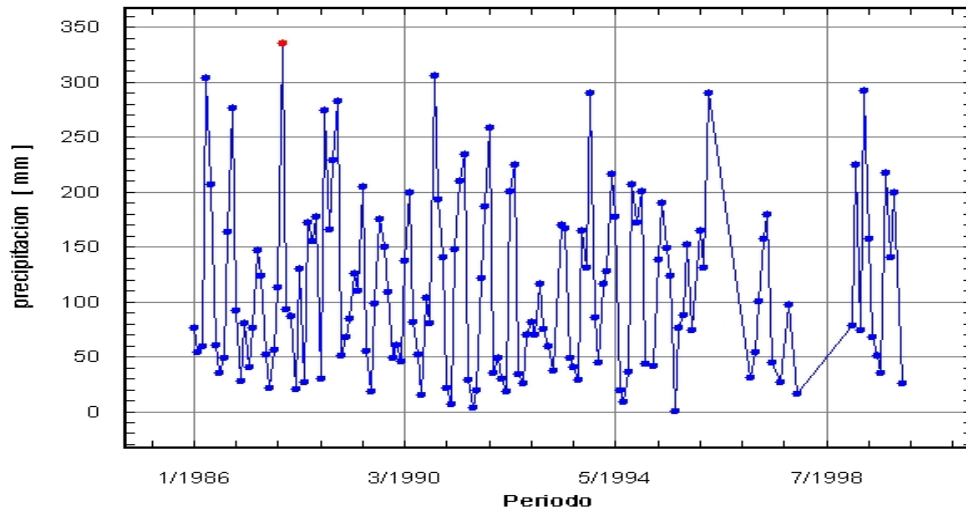
ANEXO 12. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Sevilla CDMB

[2319075 Sevilla precipitacion 01/07/1981 01/04/1992 1 130]



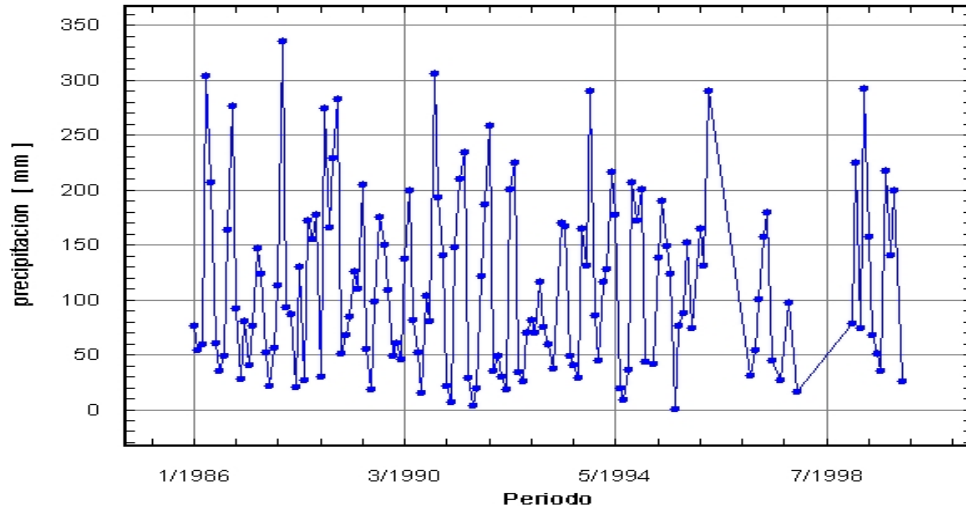
ANEXO 13. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación Charta CDMB

[2319510 charta precipitacion 01/01/1986 01/01/2000 1 169]



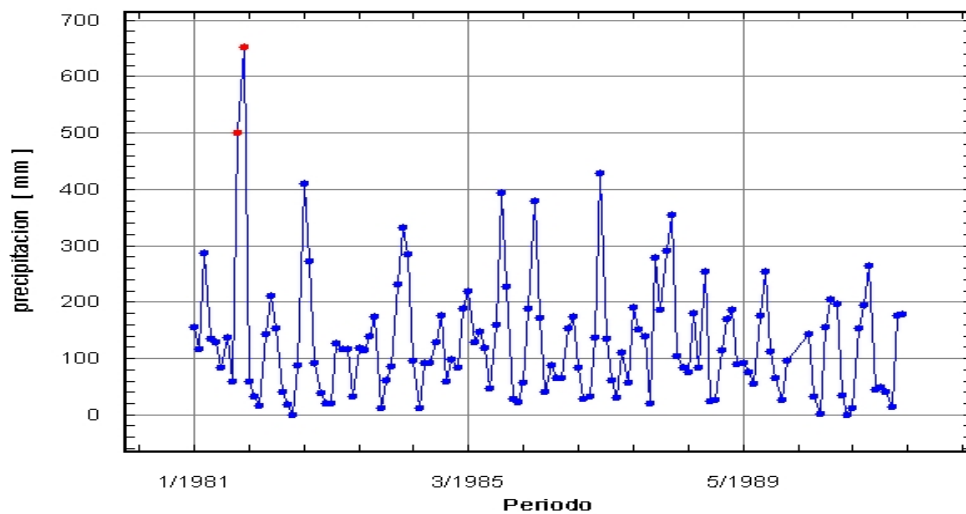
**ANEXO 14. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación
Charta CDMB**

[2319510 charta precipitacion 01/01/1986 01/01/2000 1 169]



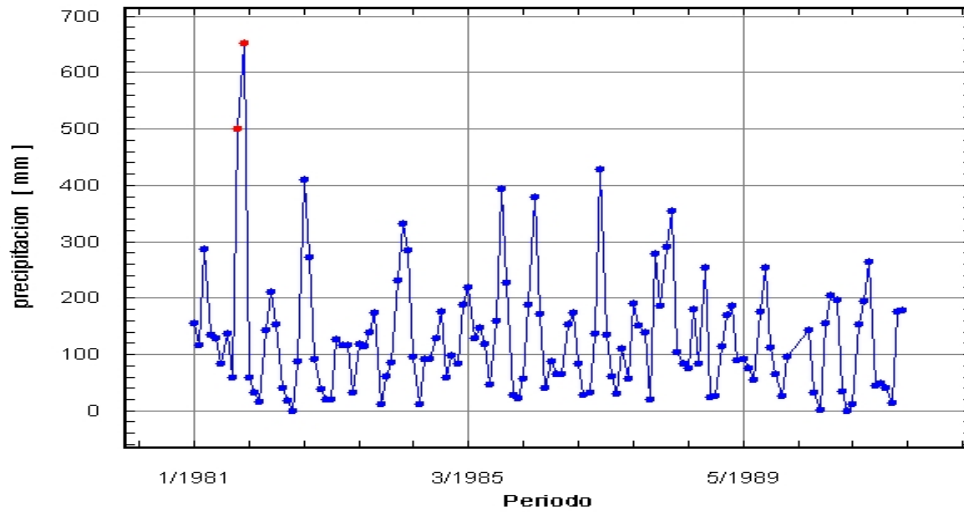
**ANEXO 15. Datos Extremos Precipitación. PruebaNormal de Asimetría
Estación El Roble CDMB**

[2319077 elroble precipitacion 01/08/1981 01/05/1992 1 130]



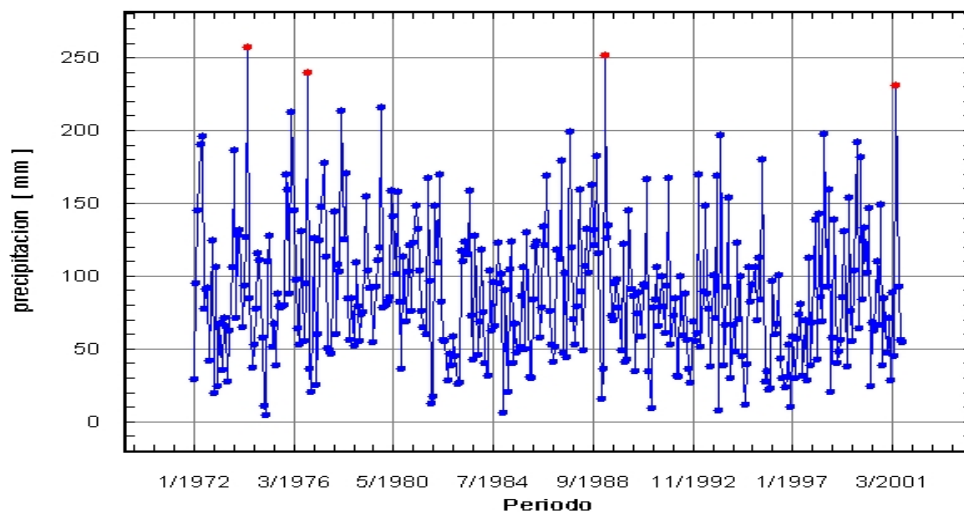
ANEXO 16. Datos Extremos Prueba Precipitación. Rango Normal Estación El Roble CDMB

[2319077 elroble precipitacion 01/08/1981 01/05/1992 1 130]



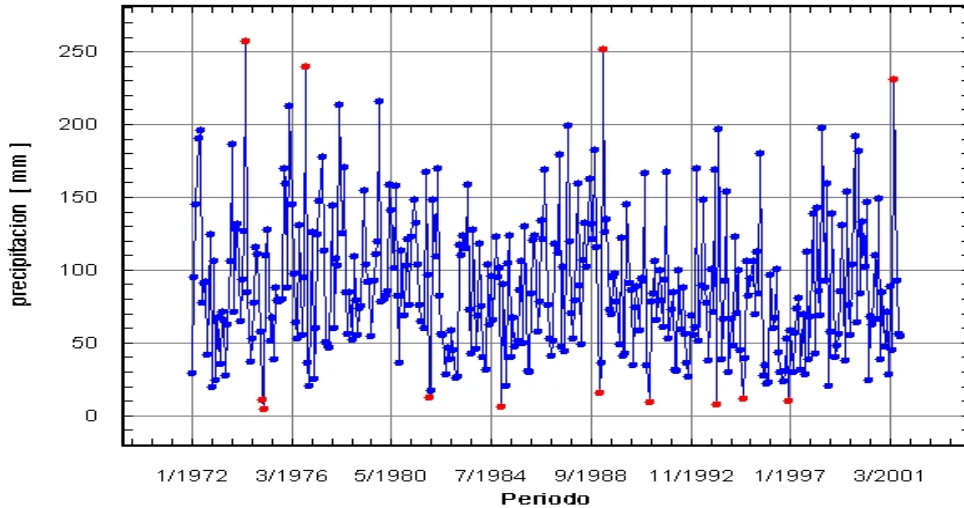
ANEXO 17. Datos Extremos Prueba Precipitación. Normal de Asimetría Estación La Flora CDMB

[2319073 laflora precipitacion 01/01/1972 01/08/01 1 356]



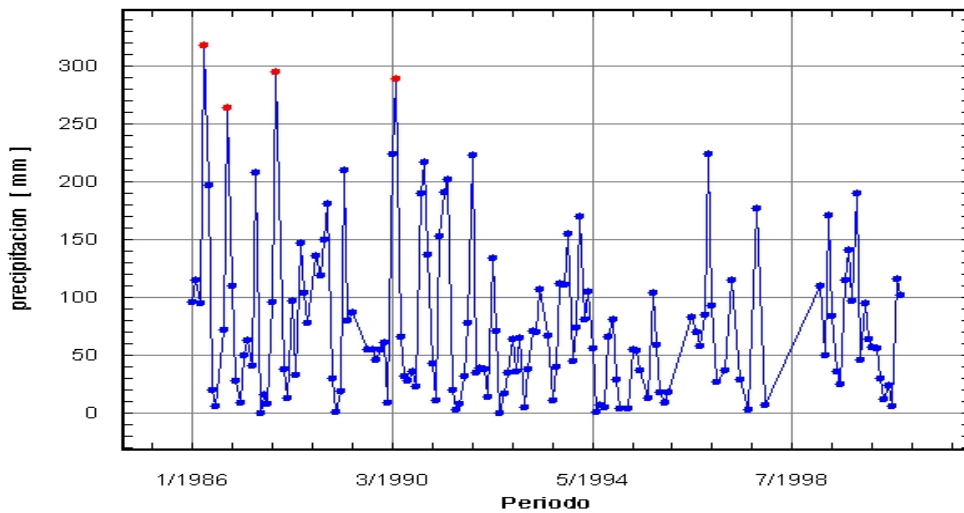
ANEXO 18. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación La Flora CDMB

[2319073 laflora precipitacion 01/01/1972 01/08/01 1 356]



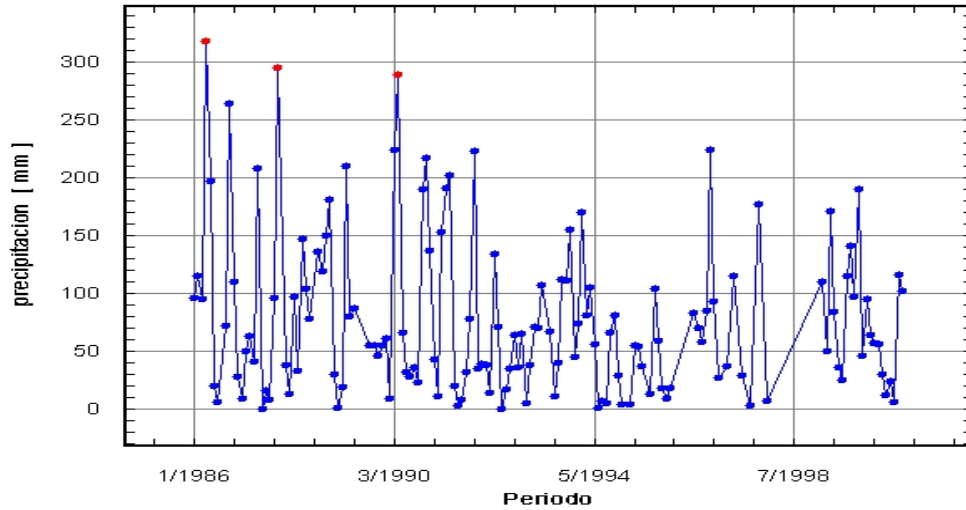
ANEXO 19. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación El Gramal CDMB

[2319516 elgramal precipitacion 01/01/1986 01/10/2000 1 178]



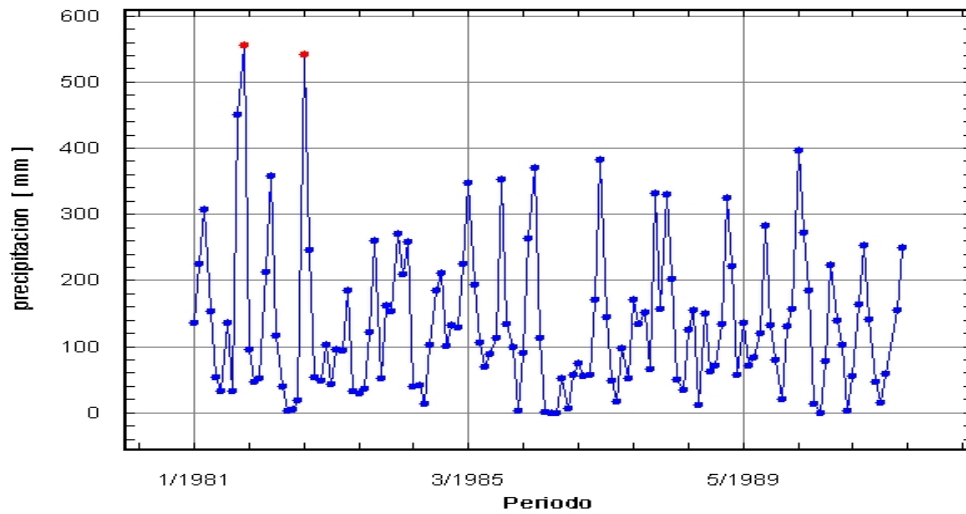
ANEXO 20. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación El Gramal CDMB

[2319516 elgramal precipitacion 01/01/1986 01/10/2000 1 178]



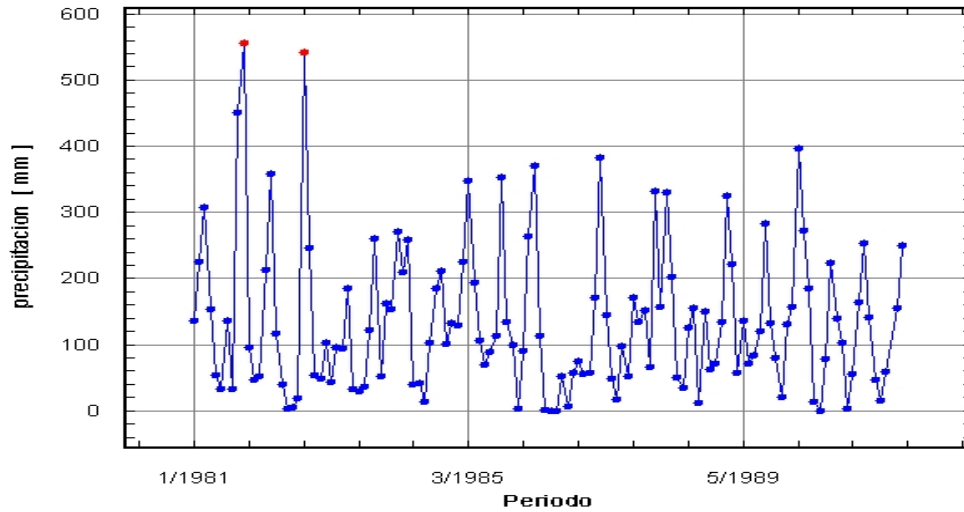
ANEXO 21. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación Lago Alto CDMB

[2319078 lagoalto precipitacion 01/08/1981 01/05/1992 1 130]



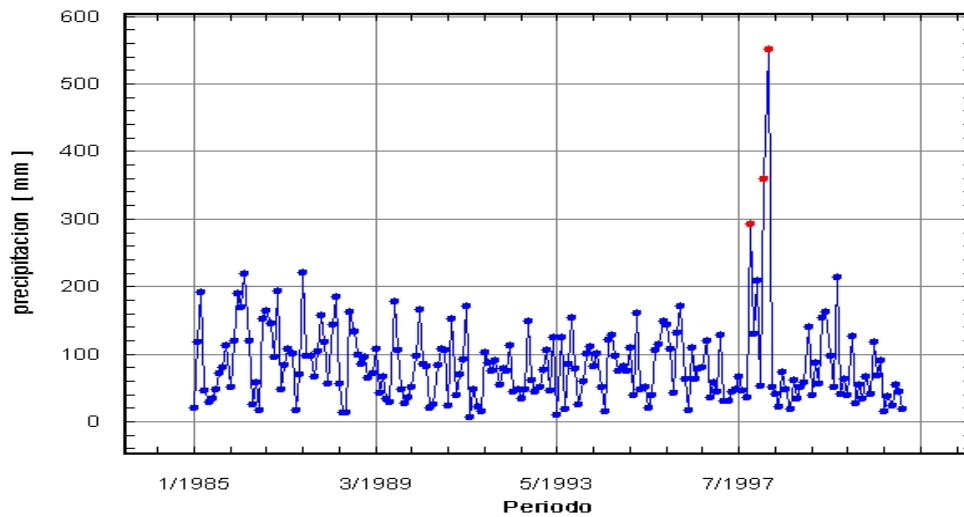
**ANEXO 22. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación
Lago Alto CDMB**

[2319078 lagoalto precipitacion 01/08/1981 01/05/1992 1 130]



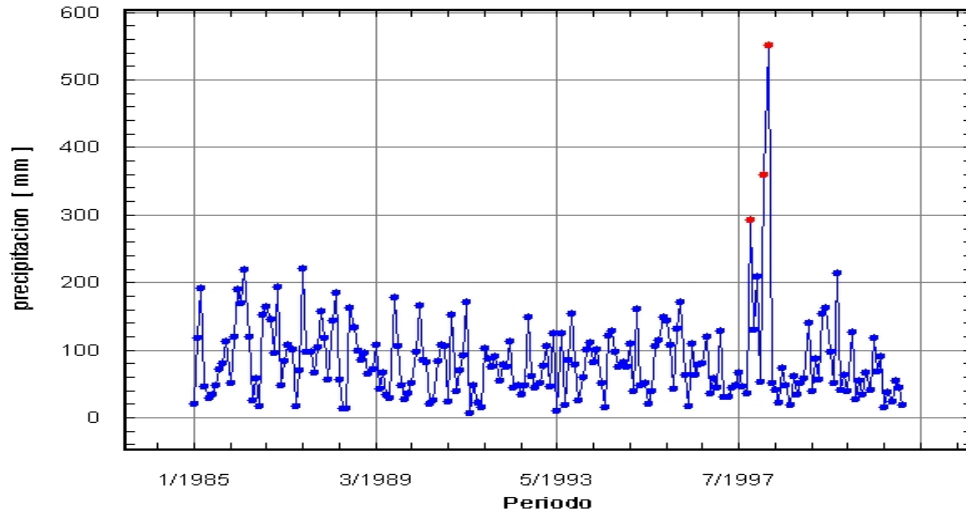
**ANEXO 23. Datos Extremos Precipitación. Prueba Normal Asimetría Estación
Totumas Ptar CDMB**

[2319739 elrasgon precipitacion 01/08/1985 01/11/2001 1 196]



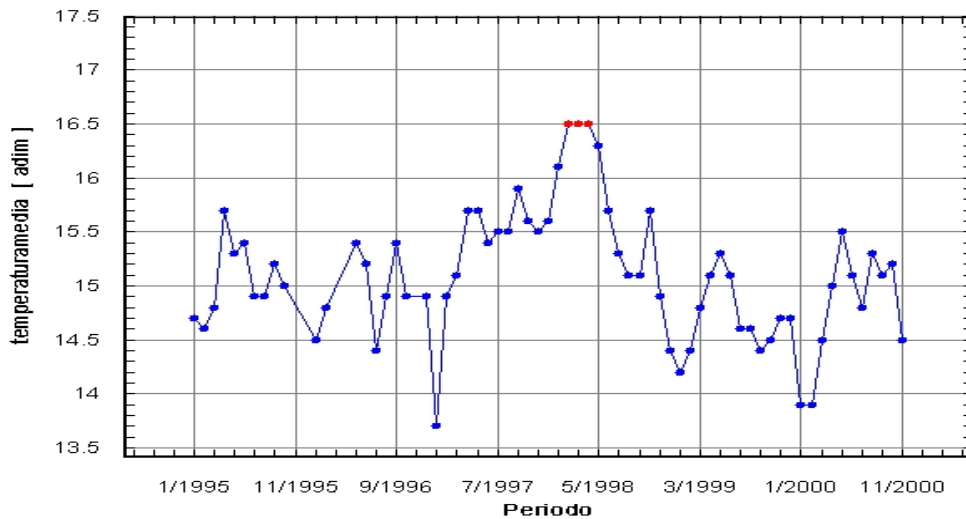
ANEXO 24. Datos Extremos Precipitación. Prueba Rango Normal Estación Totumas Ptar CDMB

[2319739 elrasgon precipitacion 01/08/1985 01/11/2001 1 196]



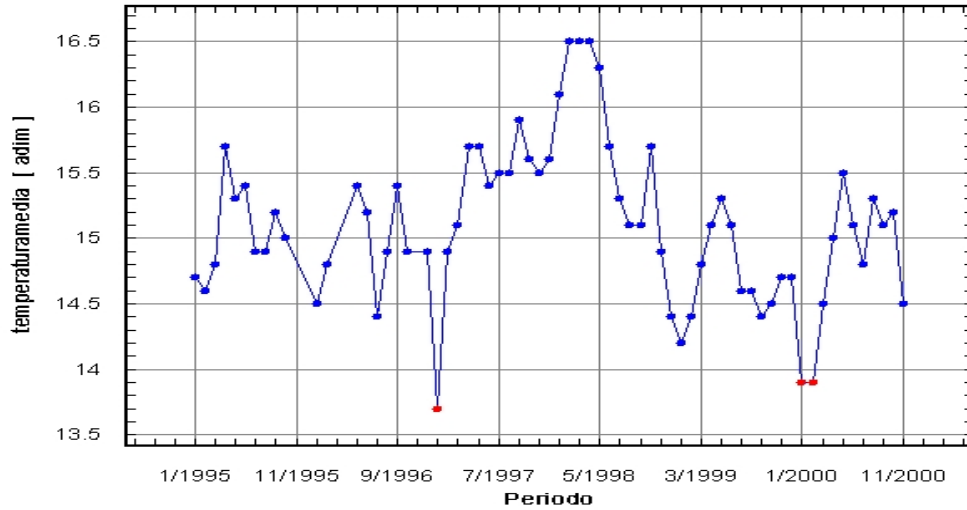
ANEXO 25. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Asimetría Estación El Rasgón CDMB.

[0 Elrasgon temperaturamedia 01/01/1995 01/12/2000 1 72]



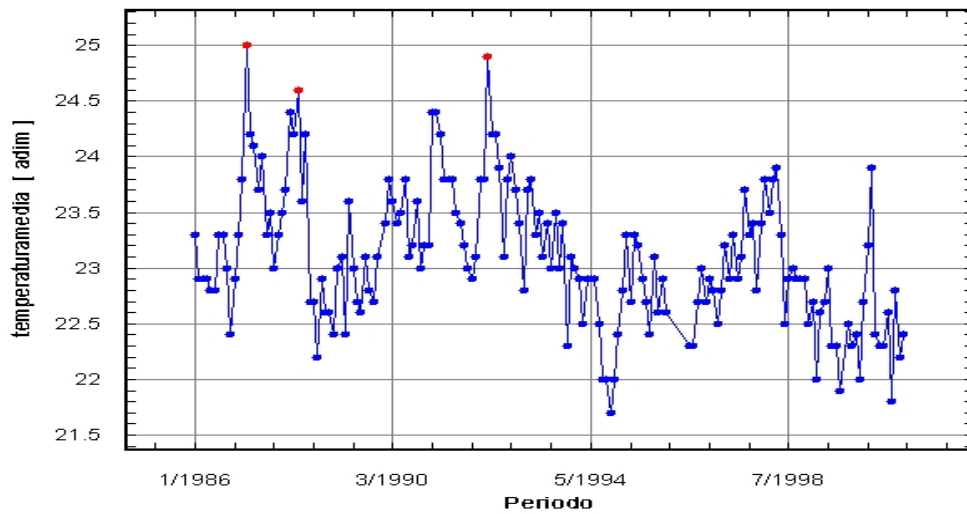
**ANEXO 26. Datos Extremos Temperatura. PruebaNormal Estación El Rasgón
CDMB.**

[0 Elrasgon temperaturamedia 01/01/1995 01/12/2000 1 72]



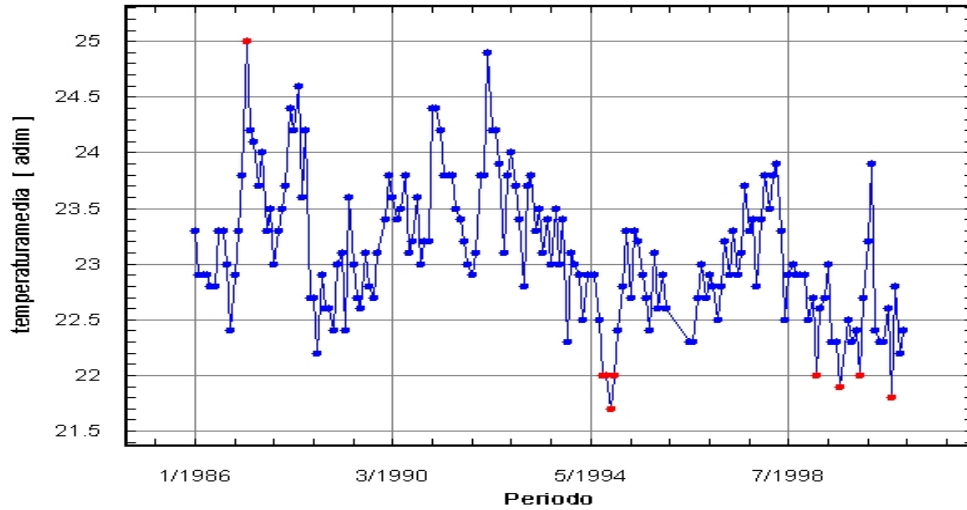
**ANEXO 27. Datos Extremos Temperatura. PruebaNormal Asimetría Estación
La Esperanza CDMB.**

[0 Laesperanza temperaturamedia 01/01/1986 01/12/2000 1 180]



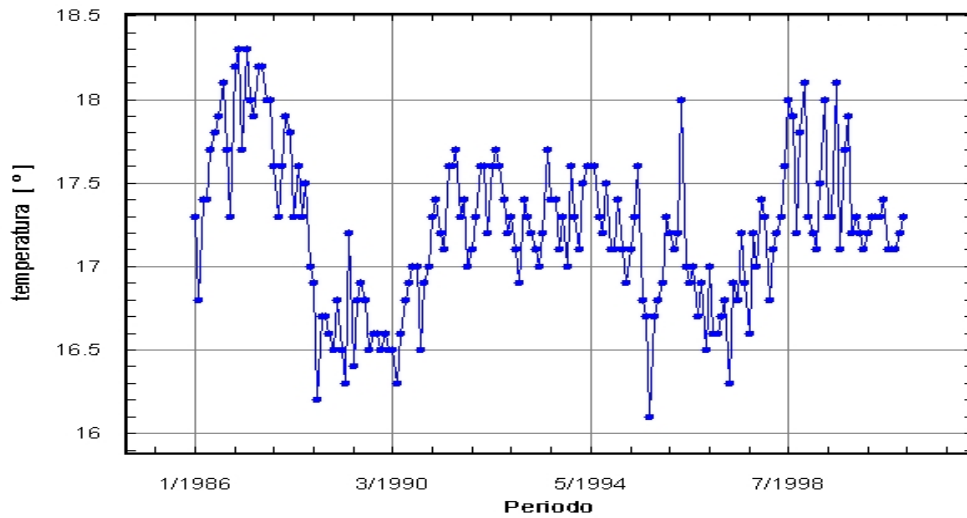
ANEXO 28. Datos Extremos Temperatura. Prueba Rango Normal Estación La Esperanza CDMB.

[0 Laesperanza temperaturamedia 01/01/1986 01/12/2000 1 180



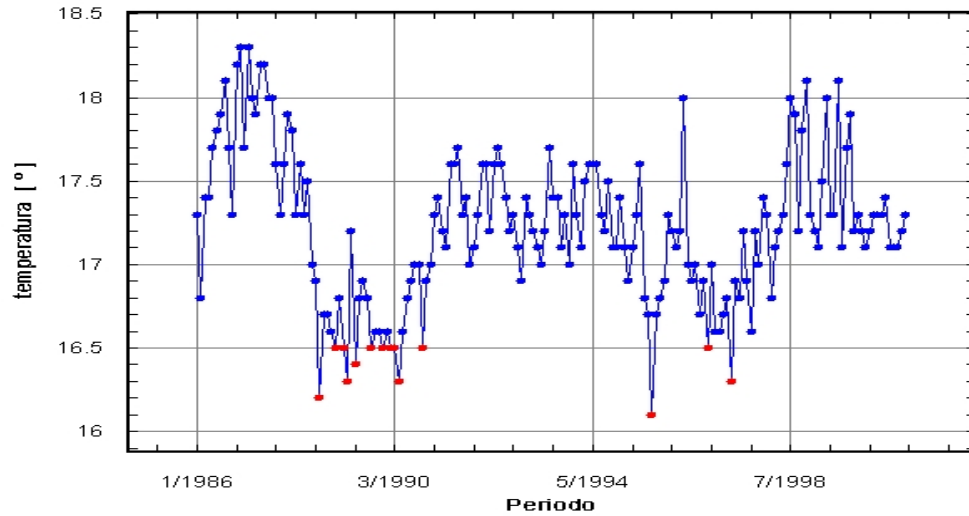
ANEXO 29. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Asimetría Estación Charta CDMB.

[0 charta temperatura 01/01/1986 01/12/2000 1 180]



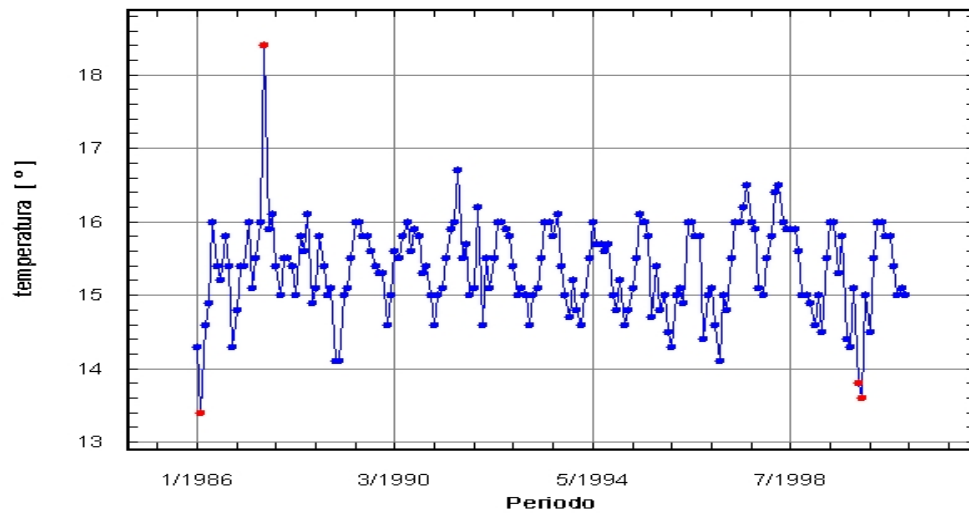
ANEXO 30. Datos Extremos Temperatura. Prueba Rango Normal Estación Charta CDMB.

[0 charta temperatura 01/01/1986 01/12/2000 1 180]



ANEXO 31. Datos Extremos Temperatura. Prueba Normal Asimetría Estación Gramal CDMB.

[0 Gramal temperatura 01/01/1986 01/12/2000 1 180]



ANEXO 32. Datos Extremos Temperatura. Prueba Rango Normal Estación Gramal CDMB.

[0 Gramal temperatura 01/01/1986 01/12/2000 1 180]

