

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ENTRE EL
SATÉLITE TRMM Y LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS EN LA
CUENCA DEL RIO BOGOTA

AUTOR:
JEFFERSON ANDRES RIVAS ESCOBAR

PROYECTO DE GRADO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA D.C
2014

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ENTRE
EL SATÉLITE TRMM Y LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS
EN LA CUENCA DEL RIO BOGOTA

AUTOR
JEFFERSON ANDRES RIVAS ESCOBAR

PROYECTO DE GRADO

DIRECTOR: DARWIM MENA RENTERIA
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO
MAGISTER EVALUACION RECURSOS HÍDRICOS

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA D.C
2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que con su ayuda y buena voluntad hicieron posible realizar este proyecto, así como también las que me aportaron sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de mi carrera estudiantil.

A mis padres que siempre me apoyaron en mis decisiones durante toda la carrera, por su comprensión y enseñanzas que permitieron alcanzar este logro.

A mi director Darwin Mena Renteria por creer en mí para llevar a cabo este proyecto, por su comprensión y sus enseñanzas.

A la profesora Claudia Romero y el profesor Javier Moncada que durante la elaboración del presente proyecto fueron guías fundamentales.

A mis amigos y compañeros que me acompañaron en el proceso de aprendizaje a lo largo de la carrera y por esos buenos recuerdos que quedaron en mi memoria.

Agradezco en especial a dos colegas Carlos Silva y Jonathan Hernández por brindarme su ayuda en la etapa inicial del proyecto.

A todos los profesores y maestros que a través de sus enseñanzas y acciones contribuyeron a fortalecer y adquirir nuevos conocimientos en mí.

RESUMEN

En este proyecto se evaluó la viabilidad de los datos de la precipitación media mensual (PMM), tanto para el satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) como para las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la cuenca del río Bogotá, siendo la PMM la variable de estudio del presente proyecto, calculada a partir de los registros históricos de precipitación acumulada mensual de ambos registros (satélite TRMM y estaciones pluviométricas). La corroboración de datos se determinó a partir de parámetros estadísticos que permitieron un mayor análisis respecto al comportamiento de la PMM.

La metodología utilizada en este proyecto se basó en recientes estudios del satélite TRMM, sin embargo la estructura y el planteamiento de la metodología fue elaborada como guía para quien desee adquirir y hacer uso de dichos datos.

Para el desarrollo de este proyecto se seleccionaron 43 estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Bogotá, con registros desde 1998 hasta 2012. Por parte del satélite TRMM se seleccionaron los píxeles que delimitan la cuenca del río Bogotá (13 píxeles) realizando una serie de geo-procesos en cada una de las imágenes satelitales para la extracción de datos. Comparando de esta manera las estaciones encontradas para cada píxel.

El análisis estadístico empleado para determinar la corroboración de los datos se realizó mediante el uso de dos herramientas estadísticas, coeficiente de correlación y error absoluto medio (EAM). Generados a partir de la estimación de la variable PMM. Además se realizó un análisis geo-estadístico para los valores de EAM mediante el método de interpolación kriging, con el fin de evaluar la fluctuación de los datos dada la relación estación-píxel.

Se pudo establecer mediante la corroboración de datos que la PMM hallada a partir de los datos del satélite TRMM que se ajusta perfectamente al comportamiento de la precipitación en la cuenca, de acuerdo a los datos de PMM de cada una de las estaciones pluviométricas. Sin embargo también se estableció que la fluctuación de los datos de PMM es amplia dada la relación estación-píxel. Siendo los datos del píxel más altos.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE IMAGENES	9
ÍNDICE TABLAS.....	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS.....	12
JUSTIFICACIÓN	13
SIGLAS	14
GLOSARIO	15
1. MARCO CONTEXTUAL.....	18
1.1. DESCRIPCIÓN CUENCA DEL RIO BOGOTÁ.....	18
1.2. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.	21
1.3. CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA.....	21
1.3.2. Hidrografía.....	21
1.3.3. Relieve y pendientes de la cuenca.	23
1.4. COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA.	25
1.4.1. Descripción Estaciones de la cuenca.....	25
1.4.2. Análisis temporal.	26
1.5. DESCRIPCION DEL SATELITE TRMM.....	35
1.5.2. Descripción producto TRMM 3B43.	39
1.6. ANTECEDENTES.....	41
2. MARCO TEORICO.....	44
2.1. PRECIPITACIÓN.....	44
2.1.1. Formación de la precipitación.	45
2.1.2. Medición de la precipitación.....	45
2.1.3. Precipitación media mensual (PMM).	46
2.2. DESCRIPCION DE METODOLOGIAS USADAS PARA LA ESTIMACION DE DATOS FALTANTES.	46
2.2.1. Método de regresión lineal simple.	46
2.2.2. Método de regresión múltiple.....	47
2.3. SATELITE TRMM.	47
2.3.1. Instrumentos del satélite TRMM.	47
2.3.2. Productos TRMM.....	50
2.3.3. Formato de archivo.....	54

2.4.	ANALISIS ESTADISTICO.....	54
2.4.1.	Coeficiente de correlación.	55
2.4.2.	Error absoluto medio (EAM).	55
2.5.	METODO DE INTERPOLACIÓN KRIGING.	56
2.5.1.	Método Kriging Ordinario.....	57
3.	METODOLOGIA.....	58
3.1.	ADQUISICION DE LOS DATOS PLUVIOMETRICOS.	58
3.1.1.	Adquisición Datos precipitación satélite TRMM.	58
3.1.2.	Adquisición datos de precipitación en las estaciones pluviométricas de la CAR y el IDEAM.	59
3.2.	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DEL SATELITE TRMM 3B43 Y LAS ESTACIONES.	59
3.2.1.	Satélite TRMM 3B43.....	59
3.2.2.	Estaciones pluviométricas de la cuenca.	65
3.3.	ESTIMACION DE DATOS FALTANTES.....	66
3.3.1.	Método de Regresión Lineal.	66
3.3.2.	Método de Regresión múltiple.	67
3.4.	CALCULO DE LA VARIABLE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (PMM).	68
3.5.	CALCULO COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.	68
3.6.	CALCULO ERROR ABSOLUTO MEDIO (EAM).	69
3.7.	METODO INTERPOLACION KRIGING.	70
4.	ANALISIS Y RESULTADOS.....	70
4.1.	ANALISIS ESTIMACIÓN DATOS FALTANTES.....	70
4.1.1.	Regresión Lineal.....	70
4.1.2.	Regresión Múltiple.	71
4.2.	ANALISIS DE LA VARIABLE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	72
4.2.1.	Comportamiento de la PMM de la cuenca según el satélite TRMM.	72
4.3.	ANALISIS ESTADISTICO DE LA CORROBORACIÓN DE LOS DATOS ENTRE EL SATELITE TRMM Y LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.	74
4.3.1.	Determinación de los coeficientes de correlación.	75
4.3.2.	Determinación de los valores de error absoluto MEDIO (EAM).	77
4.3.3.	ANALISIS ENTRE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION Y LOS VALORES DE ERROR ABSOLUTO MEDIO.	78
4.4.	ANALISIS GEO-ESTADÍSTICO MEDIANTE INTERPOLACIÓN KRIGING... ..	79
4.4.1.	Valores Error absoluto medio.	80
4.4.2.	Análisis en la cuenca río Bogotá respecto a los coeficientes de correlación y valores de error absoluto medio.....	81

5. CONCLUSIONES.....	82
6. RECOMENDACIONES	84
7. BIBLIOGRAFIA.....	85
8. ANEXOS.....	90
ANEXO 1. ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS PRESENTES DENTRO DE LA CUENCA RIO BOGOTÁ.....	90
ANEXO 2: PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.....	94
ANEXO 3: PRECIPITACION MENSUAL (MM) CAPTURADA POR EL SATELITE TRMM.	115
ANEXO 4: COMPORTAMIENTO DE LA PMM DEL SATELITE TRMM	126

ÍNDICE IMAGENES

Imagen 1. Mapa de localización general de la cuenca del rio Bogotá.	18
Imagen 2. Limite municipal Cuenca del rio Bogotá.	19
Imagen 3. Mapa del relieve de la cuenca	24
Imagen 4. Localización espacial de las estaciones en la cuenca.	26
Imagen 5. Regímenes de precipitación media mensual (mm) desde el año1998 hasta 2012.....	27
Imagen 6: funcionamiento del satélite TRMM	37
Imagen 7: Franja de barrido del satélite TRMM sobre los trópicos.	38
Imagen 8. Mapa de visualización Geo-espacial del satélite TRMM	41
Figura 9. Mapas tridimensionales generados por el radar de precipitación.	48
Imagen 10. Flujograma de procesamiento de datos de los productos TRMM.	51
Imagen 11. Niveles HDF	54
Imagen 12. Imagen satelital de la precipitación acumulada (mm) para el mes de enero del año 1998.	60
Imagen 13. Recorte de la imagen satelital precipitación acumulada (mm) para el mes de abril de 1998 a partir de la cuenca.....	61
Imagen 14. Transformación de imagen raster a imagen vectorial.....	62
Imagen 15. Mapa de estaciones pluviométricas.....	65
Ilustración 16. Método Regresión lineal	67
Ilustración 17. Estimación ecuación y coeficiente de determinación.	71
Imagen 18. Mapa de pixeles según la cuenca.	73
Imagen 19. Distribución de las estaciones pluviométricas en la cuenca según cada pixel.	74
Ilustración 20. Tendencia de precipitación media mensual según la fluctuación de precipitación para la estación Venecia y el Pixel 15 del satélite TRMM.	79
Imagen 21. Mapa de comportamiento de los valores de error absoluto medio según el método de interpolación kriging.	80

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Conformación municipal de la cuenca.....	20
Tabla 2. Características físicas de la Cuenca.	21
Tabla 3. Subcuencas que componen la cuenca del río Bogotá.....	22
Tabla 4. Clasificación porcentual del tipo de relieve en la cuenca.	24
Tabla 5: características del satélite TRMM	36
Tabla 6. Características principales del producto TRMM 3B43.....	39
Tabla 7. Características de los principales productos del TRMM.....	52
Tabla 8. Atributos por cada imagen vectorial.	63
Tabla 9. Organización de los datos de precipitación acumulada para cada mes según el año.....	64
Tabla 10. Esquema para la aplicación del método.	66
Tabla 11. Método regresión múltiple.	67
Tabla 12. Aplicación método regresión lineal.....	70
Tabla 13. Aplicación del método.	71
Tabla 14. Determinación coeficiente de coeficiente correlación.....	75
Tabla 15. Determinación error absoluto medio.....	77

INTRODUCCIÓN

La precipitación es parte fundamental del ciclo hidrológico, y provee gran parte del agua dulce que se encuentra en la superficie terrestre del planeta por ende contribuye a la vida de los seres vivos, además influye considerablemente en fenómenos climáticos que pueden resultar adversos para la sociedad, como por ejemplo las inundaciones. Razón por la cual es importante determinar el comportamiento de la precipitación en el tiempo. Es por esto que se emplean instrumentos de medición de precipitación como el pluviómetro y el pluviógrafo que registran dicha variable en intervalos de tiempo de 24 horas midiendo de forma puntual la lluvia. Los instrumentos están localizados en estaciones pluviométricas y son manejadas por un operario que registra manualmente los datos de precipitación siendo estos datos, de gran importancia para el desarrollo de estudios relacionados con el uso y la predicción de lluvias en una zona o región determinada.

No obstante una de las dificultades en el registro de la precipitación se debe a fallas o daños de los instrumentos, falta de calibración, y demás percances que pueden presentarse en las estaciones que albergan dichos instrumentos. En consecuencia las estaciones dejan de recolectar información pluviométrica quedando de esta manera vacíos en los registros históricos de precipitación. Otra dificultad para determinar la variable precipitación en muchas zonas es la falta de estaciones pluviométricas siendo desconocido el patrón de comportamiento de la precipitación; Situación que sucede por el alto costo, los estudios previos requeridos para la instalación o porque las condiciones del terreno no son adecuadas para la instalación de estaciones.

En vista de lo anterior la finalidad de este proyecto es dar a conocer los datos del satélite TRMM, como complemento a la escasez de datos de información pluviométrica en zonas que no cuentan con estaciones. También en registros históricos de datos que carecen de datos de precipitación. Aportando a futuros proyectos de investigación que incorporen dicha variable.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar por medio de parámetros estadísticos la calidad de los datos del satélite TRMM en lo que respecta a la precipitación MEDIA mensual frente a las estaciones pluviométricas que se ubican dentro de la cuenca del río Bogotá.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Describir cuantitativamente y cualitativamente la metodología realizada para la validación de los datos.
- ✓ Corroborar la precipitación media mensual del satélite TRMM con los registros históricos de precipitación de las estaciones pluviométricas presentes dentro de la cuenca.
- ✓ Predecir el comportamiento de la precipitación media mensual en la cuenca del río Bogotá a través de un análisis geo- estadístico utilizando el método de interpolación Kriging.

JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realiza con el fin de hacer un aporte a distintos centros de investigación colombiana que utilizan datos pluviométricos, para que hagan uso de los datos del satélite TRMM como complemento a la falta de datos pluviométricos que se presenta en Colombia.

De acuerdo a lo anterior es importante validar los datos que son adquiridos por el satélite TRMM, procedimiento que se realiza mediante un análisis de correlación de datos con las estaciones pluviométricas frente a los datos adquiridos por el satélite TRMM. Para ello, este estudio acoge métodos estadísticos, que se han utilizado en recientes estudios a nivel mundial. En este proyecto se tomaron 43 estaciones pluviométricas que son propiedad de entidades como la CAR y el IDEAM, dichas estaciones se ubican dentro de la cuenca del río Bogotá; para cada una se evalúa el registro histórico empezando desde el año 1998 hasta el 2012, se tomo la fecha de inicio (1998) porque el satélite TRMM comenzó a funcionar a partir de ese año. En lo que respecta a la fecha de cierre (2012) se tomo debido a que los registros históricos de la CAR y el IDEAM no están actualizados y presentan datos completos hasta el año 2012. Los datos del satélite tomados corresponden a ese mismo lapso de tiempo para hacer la respectiva comparación.

El producto del satélite TRMM que será utilizado en este proyecto es el TRMM 3B43, producto que contiene los datos de precipitación acumulada mensual de cualquier zona del mundo, según estudios recientes el producto TRMM 3B43 arrojó buenos resultados de correlación de datos en diferentes países (ver antecedentes).

SIGLAS

TRMM: Misión de medición de lluvia tropical

JAXA: Agencia Aeroespacial Japonesa

NASA: Administración Nacional de la aeronáutica y el espacio

EAM: Error Absoluto Medio

CC: coeficiente de correlación

PMM: Precipitación Media Mensual

HDF: Formato de datos Hierarchical

CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

IDEAM: Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales

PR: Radar de precipitación

TMI: Sensor de Imágenes por microondas

VIRS: Escáner visible e infrarrojo

CERES: Sistema de energía radiante de la tierra y de las nubes

LIS: Sensor de imágenes de relámpagos

GLOSARIO

Área: Es la medida de la región o superficie encerrada por una figura geométrica [1].

Algoritmo: Es un conjunto de pasos lógicos y estructurados que nos permiten dar solución a un problema [2]

Ancho de franja: es el área de superficie que es captada por los instrumentos del satélite que pasan por encima, y cuanto más ancho sea, las imágenes serán de mayor tamaño [3].

Banda espectral: Son las longitudes de ondas ínfimas, rayos x y gamma. Se encargan de demarcar un blanco y los valores que registran se expresan en unidades de frecuencia.

Calor Latente: Cuando el agua hierve, absorbe el calor para evaporar. También se puede presentar inversamente, es decir, cuando el vapor se condensa, debe liberar calor a la atmósfera [4].

Caudal medio: es la tasa promedio de descarga en m^3/s para un periodo de 24 horas. [5]

Clasificación Horton: es un método que se utiliza para clasificar los cauces por forma, y se define como las magnitudes de los cauces de acuerdo a su índice numérico [6].

Cobertura geográfica: corresponde al área en la tierra o agua que cubren los transbordadores de un satélite, con el fin de recopilar información [7].

Covarianza: es una variable bidimensional es la media aritmética de los productos de las desviaciones de cada una de las variables respecto a sus medias respectivas [8].

Fluctuación: variación del valor o en la intensidad [9].

Grilla: sirve para ordenar elementos gráficos de texto e imágenes [10]

Geo- proceso: Un geo-proceso recibe como parámetros de entrada una o más capas de información cartográfica, y como resultado de su ejecución producirá una nueva capa, resultante de aplicar una serie de criterios lógicos,

espaciales o numéricos sobre los elementos geográficos que forman parte de las capas con las que se está operando [11].

Haz de luz: Son ondas que se propagan en todas las direcciones y siempre en línea recta [12].

Imagen raster: están formadas por un conjunto de píxeles, estos píxeles tienen uno o más valores que describen su color [13].

Imagen vectorial: se componen de contornos y rellenos definidos, matemáticamente mediante precisas ecuaciones [13].

Interpolación: consiste en estimar $f(x)$ para un “x” arbitrario, a partir de la construcción de una curva o una superficie que une los puntos donde se han realizado las mediciones y cuyo valor se conoce. Se asume que el punto arbitrario “x” se encuentra dentro de los límites de los puntos de medición [14].

Isolínea: “significa igualdad o denota uniformidad o semejanza”. En este sentido, las isolíneas son líneas que unen puntos de igual valor. Dichos puntos provienen de mediciones y de interpolaciones de las mismas [15].

Isoyetas: Las curvas de isoyetas son líneas que unen puntos de igual cantidad de lluvia [16]

Latitud: las líneas de latitud atraviesan la tierra de este a oeste, pero miden el globo de norte a sur empezando en el ecuador. [17]

Longitud: Las líneas de longitud atraviesan el globo terráqueo de norte a sur, pero se miden de este a oeste empezando en el meridiano cero [17].

Magnitud: es toda propiedad de los cuerpos que puede medirse, por ejemplo, la presión, el volumen, la temperatura, el tiempo y la velocidad [18].

Perímetro: El perímetro de un polígono es la suma de las longitudes de todos sus lados [19].

Pluviometría: es la medición de la precipitación que se realiza para obtener información sobre sus características espaciales y temporales, como intensidad, frecuencia, fase, duración, cantidad, etc [20].

Reflectividad: este proceso toma la luz prestada de otra fuente. Las ondas de luz prestadas tocan un objeto y rebotan de este. El proceso depende de la intensidad de la luz [21].

Resolución espacial: es la capacidad que tiene el satélite de generar información en una zona determinada según su alcance y resolución. Esta resolución está dada por el tamaño del pixel, y entre menor sea el tamaño del pixel hay mayor información en la imagen satelital [22].

Resolución espectral: sirve para captar imágenes en determinados rangos de longitudes de onda denominados bandas o canales. Dependiendo de la aplicación pueden seleccionarse sensores con bandas estrechas o anchas, tamaño que determina la resolución [22].

Resolución temporal: es una medida de frecuencia con la que el satélite es capaz de obtener imágenes de una determinada área [23]

Sesgo: Es la distorsión en la estimación de un efecto causada por la forma errónea en la que fueron seleccionados los sujetos de estudio [24].

Semivariograma: conocido también como variograma, es la herramienta central de la geo-estadística. Dada una variable regionalizada $Z(x)$ que cumpla la hipótesis Intrínseca [25].

Teledetección: Es la ciencia y arte de obtener información a través de imágenes en la superficie (terrestre o acuática) sin entrar en contacto con ella. Esto se realiza detectando y grabando la energía emitida y reflejada, procesando, analizando y aplicando la información [26].

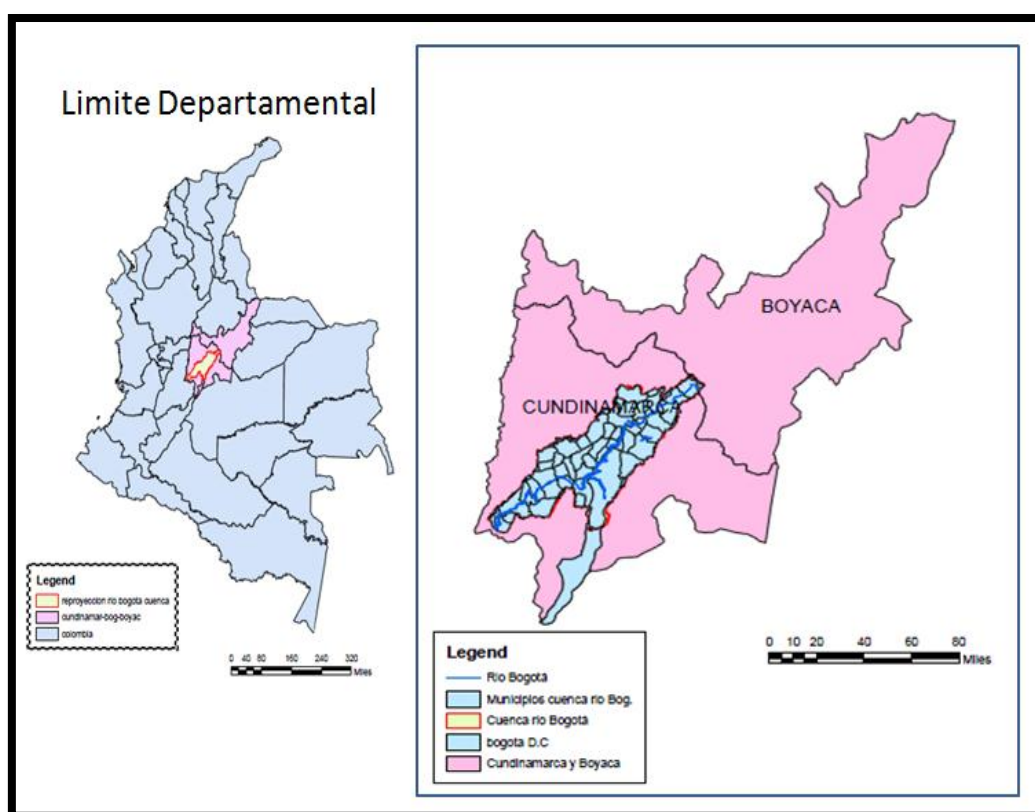
1. MARCO CONTEXTUAL

1.1. DESCRIPCIÓN CUENCA DEL RIO BOGOTÁ

La cuenca del río Bogotá se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca junto con los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Machetá, conforma el grupo de corrientes de segundo orden del departamento. Tiene una superficie total de 589.143 hectáreas que corresponden a cerca del 32% del total de la superficie departamental. En la figura 1 se presenta la localización de la cuenca dentro de Cundinamarca [26].

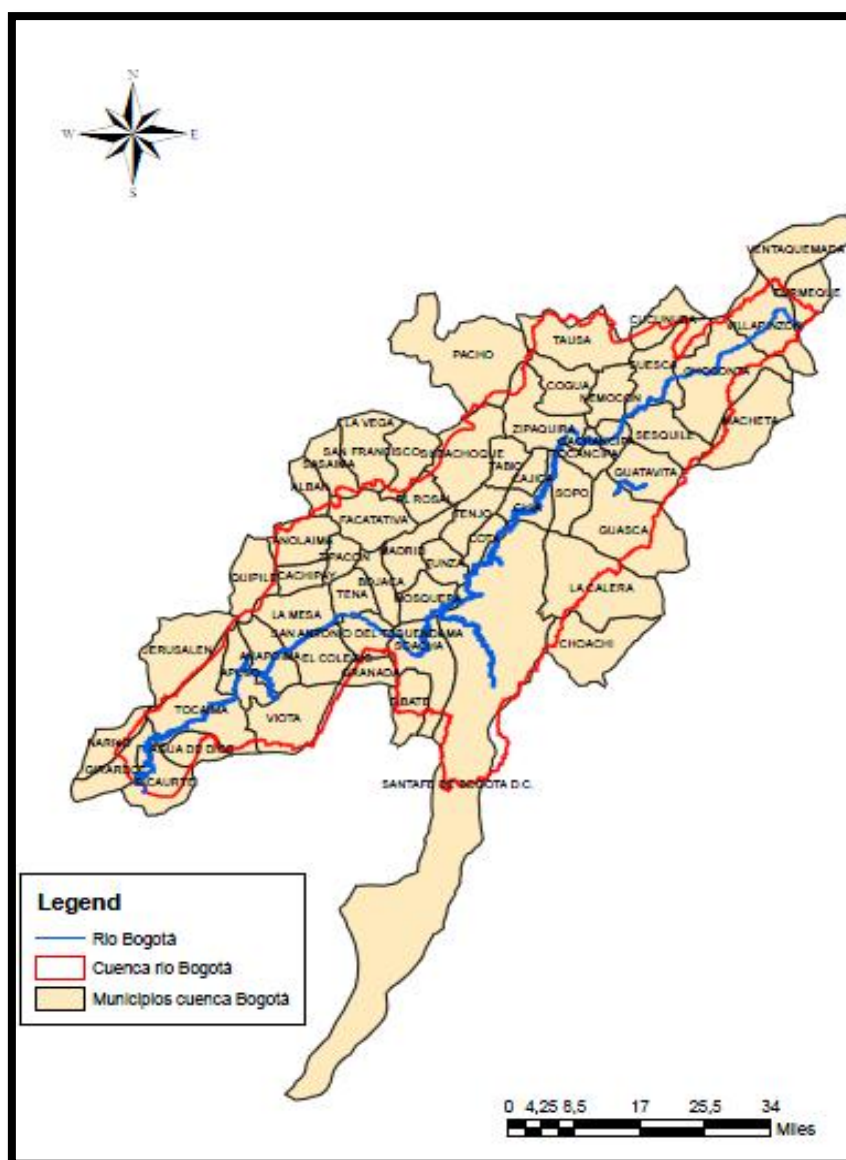
El río Bogotá es la corriente principal de la cuenca, su cauce nace a 3300 m.s.n.m. en el municipio de Villa pinzón recorriendo la subcuenca alta del río Bogotá. Finalmente atraviesa la ciudad de Bogotá y desemboca en río Magdalena a 280 m.s.n.m. en el municipio de Girardot; antes de llegar al río Magdalena el agua del río se torna turbulenta [26].

Imagen 1. Mapa de localización general de la cuenca del río Bogotá.



Fuente: Elaboración propia; información proporcionada por la CAR-Cundinamarca.

Imagen 2. Limite municipal Cuenca del rio Bogotá.



Fuente: Elaboración propia; información proporcionada por SITES GOOGLE Y CAR-Cundinamarca.

La cuenca del río Bogotá presentada en las anteriores imágenes se toma como zona de estudio del proyecto, ya que posee una extensa información pluviométrica en cada uno de los sectores de la cuenca. Además dicha zona es representativa para el proyecto debido a que comprende una extensa región del territorio colombiano como se mostro en la imagen 1.

La cuenca alberga una gran cantidad de municipios en los que sobresalen el municipio de Villa pinzón donde nace el rio Bogotá, Los municipios Ventaquemada y Turmeque localizados en el departamento de Boyacá pero que limitan al norte con el municipio de Villa Pinzón. El municipio de Girardot,

allí se genera la desembocadura del río y la ciudad de Bogotá, la capital del país donde la cuenca alcanza albergar la parte norte de dicha ciudad. Véase los municipios mencionados de la cuenca en la tabla 1.

Tabla 1. Conformación municipal de la cuenca.

MUNICIPIO	AREA MUN (ha)	AREA CUENCA (ha)	% MUNIC EN CUENCA
AGUA DE DIOS	8567	7033	82
ANAPOIMA	12377	12359	100
ANOLAIMA	12045	11010	91
BOGOTA D.C	163617	84531	52
BOJACA	10061	10061	100
CACHIPAY	5388	5388	100
CAJICA	5157	5157	100
CHIA	7928	7928	100
CHOCONTA	30178	25383	84
COGUA	13289	13278	100
COTA	6041	6041	100
CUCNUBA	11163	1280	11
EL COLEGIO	11767	11753	100
EL ROSAL	9791	8492	87
FACATATIVA	15405	15164	98
FUNZA	6731	6731	100
GACHANZIPA	4165	4165	100
GIRARDOT	12979	7691	59
GRANADA	6739	1689	25
GUASCA	36457	21144	58
GUATAVITA	24561	15028	61
LA CALERA	33239	19223	58
LA MESA	14338	14295	100
MADRID	11829	11829	100
MOSQUERA	10822	10822	100
NEMOCON	9906	9906	100
OSPINA PEREZ	11876	11875	100
QUIPILE	12619	3130	25
RICARTE	12810	8491	66
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	8845	8837	100
SESQUILE	14125	14093	100
SIBATE	12269	9313	76
SOACHA	18148	16950	93
SOPO	11045	11045	100
SUBACHQUE	19473	17374	89
SUESCA	17282	12217	71
TABIO	7583	7583	100

TAUSA	19281	14219	74
TENA	5114	5114	100
TENJO	11200	11200	100
TOCAIMA	24722	244243	98
TOCANCIPA	7321	7321	100
VILLAPINZON	22596	12772	57
VIOA	20339	20130	99
ZIPACON	5872	5872	100
ZIPAQUIRA	19513	10430	94
TOTALES (HA) DE MUNICIPIOS	776.573	587.597	

Fuente: CAR- Cundinamarca [26].

En la tabla 1 se muestra los municipios que se encuentran dentro de la cuenca del río Bogotá. La cuenca alberga 46 municipios en total incluyendo la capital del país Bogotá D.C.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.

La Cuenca del río Bogotá limita en su extremo norte con el Departamento de Boyacá, en el extremo sur con el Departamento del Tolima, al occidente con los municipios de Bituima, Guayabal de Siquima, Albán, Sasaima, La Vega, San Francisco, Supatá y Pacho y al oriente, la subcuenca del río Tunjuelo, con los municipios de Nilo, Tibacuy, Silvana, Chipaque, Ubaque y Choachi [26].

1.3. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA

1.3.1. Características físicas de la cuenca

Tabla 2. Características físicas de la Cuenca.

Area	5932, 95 Km ²
Perimetro	581, 74 Km
Longitud del cauce principal	380 Km
Caudal medio	27 m ³ /s

Fuente: elaboración propia, datos suministrados por Gvsig 2.1.

1.3.2. Hidrografía.

La cuenca del río Bogotá cuenta con una longitud de 380km y se divide en tres tramos, que son: Cuenca alta, cuenca media y cuenca baja; a continuación se presentan algunas características de cada una [27].

- Cuenca alta: el río nace en el páramo de Guacheneque al norte de Cundinamarca a una altura de 3250 m.s.n.m. y posee un caudal medio de 13.5 m³/s. en esta sección el agua del río se utiliza para potabilización y suministro de agua de Bogotá mediante la planta de tratamiento de Tibitoc.
- Cuenca media: el tramo empieza desde el puente la virgen y termina antes de llegar al embalse del muña en Alicachin. Uno de sus principales afluentes es el río Tunjuelo que nace en el páramo de Sumapaz; en este tramo se caracteriza por contraer desechos líquidos provenientes de aguas del Salitre y Fucha. La cuenca posee un caudal medio de 37m³/s, a su vez existe una demanda significativa de agua a través del distrito de riego de la ramada.
- Cuenca baja: el tramo empieza desde el embalse del muña y desemboca en el río Magdalena. En esta sección el río atraviesa un torrentoso descenso en busca del río Magdalena. Posee un caudal medio de 50 m³/s; el agua del río se entuba para ser utilizada en la generación eléctrica en dos cadenas paralelas de generación [27].

Tabla 3. Subcuencas que componen la cuenca del río Bogotá.

No.	SUBCUENCA	AREA HA	%
1	Rio Bogota (Sector Tibitoc-Soacha)	71284	12.1
2	Rio Balsillas	62442	10.6
3	Rio Bajo Bogota	54431	9.2
4	Rio Apulo	48505	8.2
5	Rio Neusa	44735	7.6
6	Rio Tunjuelito	41535	7.0
7	Embalse Tomine	37428	6.4
8	Rio Teusaca	35818	6.1
9	Rio Medio Bogota (Sector Salto-Apulo)	31650	5.4
10	Rio Alto Bogota	27615	4.7
11	Rio Calandaima	26840	4.6
12	Rio Bogota (Sector Sisga - Tibitoc)	25397	4.3
13	Rio Frio	20160	3.4
14	Embalse Sisga	15526	2.6
15	Rio Chicu	14189	2.4
16	Embalse del Muña	13422	2.3
17	Rio Bogota (Sector Soacha - Salto)	10725	1.8
18	Rio Soacha	4052	0.7
19	Rio Negro	3390	0.6
	TOTALES	589143	100.0

Fuente: CAR- Cundinamarca [26]

En la tabla 3 se puede observar el área que ocupa cada subcuenca dentro de la cuenca y el porcentaje de área en relación al total de la cuenca. Cabe

mencionar que cada subcuenca alberga diferentes estaciones meteorológicas con el fin de predecir y determinar la climatología que se da en cada zona.

De acuerdo con la clasificación de Horton, la cuenca del río Bogotá tiene un total de 33.622 corrientes, clasificadas en ocho ordenes, de estas el 59% pertenecen al orden 1 y solo el 0.06% al orden 8 [26].

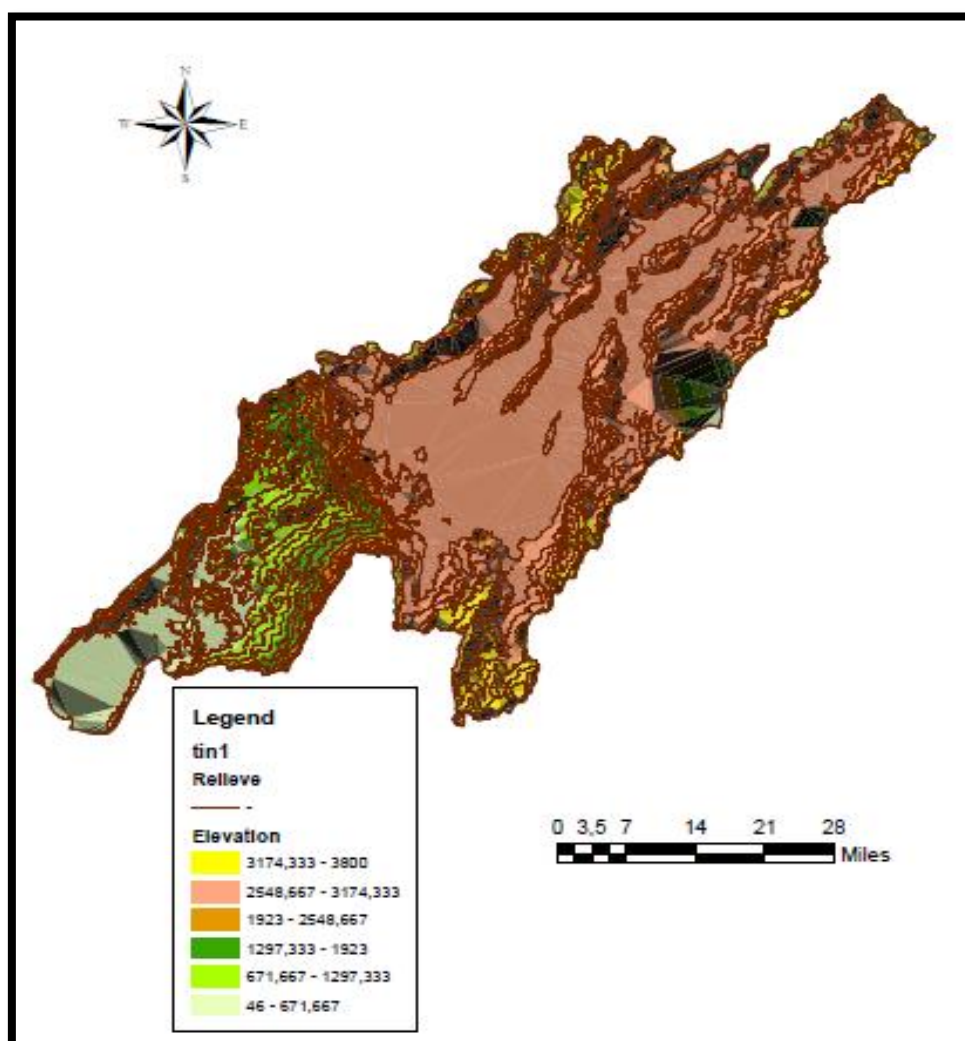
En cuanto a las aguas subterráneas, la cuenca río Bogotá posee un sistema hidrogeológico que se subdivide en los grupos:

- Sedimentos y rocas con flujo especialmente intergranular.
- Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas.
- Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea.

1.3.3. Relieve y pendientes de la cuenca.

El 30% de la cuenca se caracteriza por presentar un relieve fuertemente Ondulado a Fuertemente – quebrado, con pendientes entre 12 y 25 %; le sigue en importancia el relieve Fuertemente Quebrado con pendientes entre 25 y 50%. Estas condiciones de relieve y pendiente se presentan a lo largo y ancho de la cuenca, con excepción del área comúnmente denominada como sabana y parte baja de la cuenca, donde predominan pendientes entre 0 y 7 % y relieves planos, ligeramente planos, ligeramente inclinados y ligeramente ondulados. A continuación se presenta la distribución de los grados de pendiente en la cuenca [26]

Imagen 3. Mapa del relieve de la cuenca



Fuente: Elaboración propia, datos proporcionados por la CAR- Cundinamarca.

Tabla 4. Clasificación porcentual del tipo de relieve en la cuenca.

Grado	Relieve	Símbolo	Área	%
0-3%	Plano, plano cóncavo y ligeramente plano	a	86.946	14,8
3-7%	Ligeramente inclinado y ligeramente ondulado	b	84.732	14,4
7-12%	Ondulado, inclinado	c	71.807	12,2
12-25%	Fuertemente ondulado, Fuertemente inclinado	d	176.789	30
25-50%	Fuertemente quebrado	e	131.362	22,3
50-75%	Escarpado	f	26.484	4,5
>75%	Muy escarpado	g	6.579	1,1
	Embalses principales	h	444	0,8
Total ha			589.143	100

Fuente: Elaboración propia, datos proporcionados por CAR-Cundinamarca.

En la tabla 4 se puede apreciar el rango porcentual preestablecido para cada zona según el tipo de relieve. Predominando el relieve fuertemente ondulado y fuertemente escarpado. También se puede observar que la cuenca posee un terreno muy complejo y dinámico, debido a la gran variedad de estructuras de relieve.

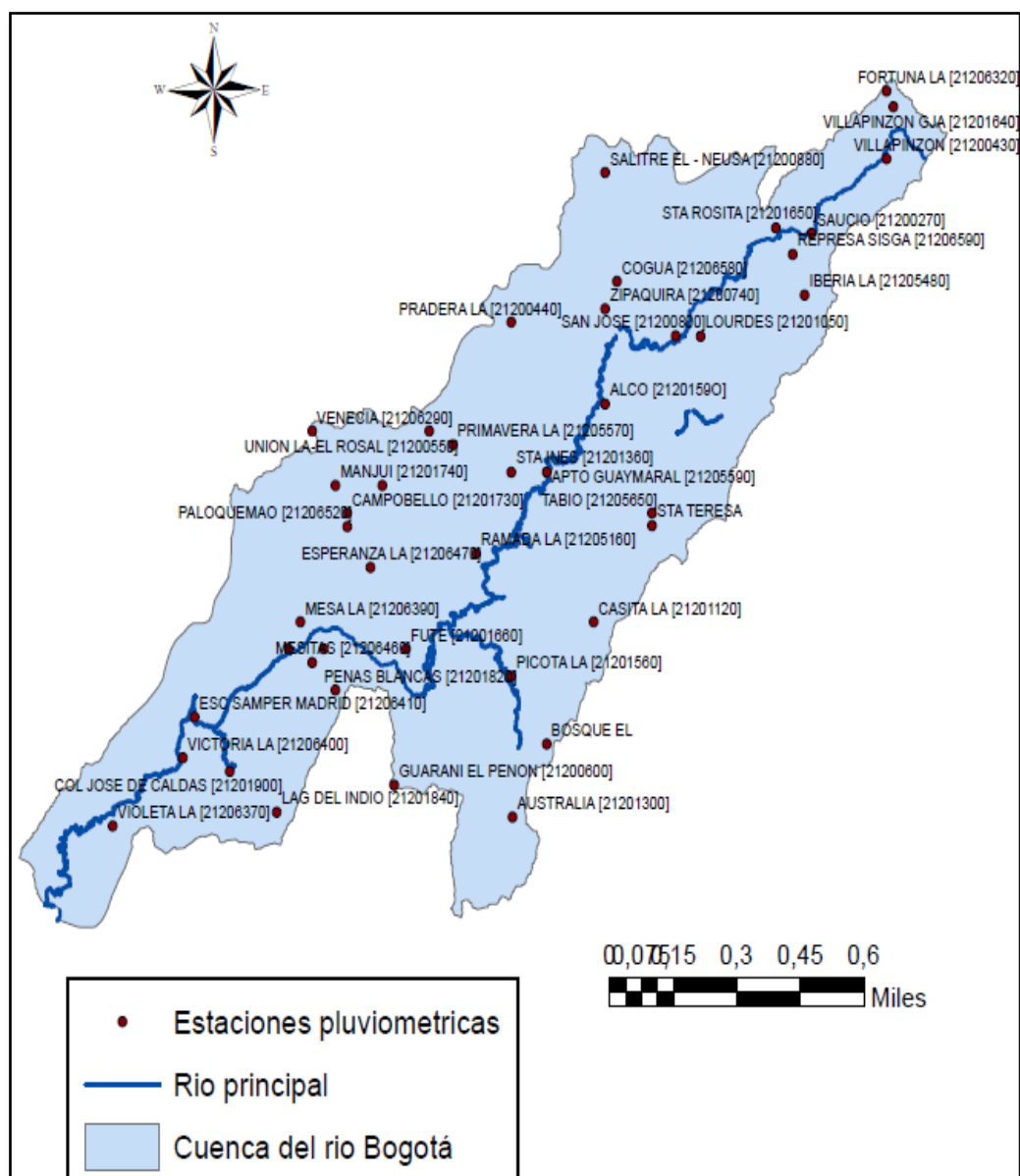
Es importante para el presente estudio considerar el relieve de la cuenca, porque el satélite determina la precipitación de una región por teledetección de imágenes que captura con los instrumentos que están a bordo de dicho satélite. Por lo cual el satélite dentro de su funcionamiento tiene en cuenta la distancia vertical que recorre la lluvia hasta el nivel del suelo. De esta manera se observa más adelante si hay fluctuación de lluvia debido a la complejidad del terreno en la cuenca.

1.4. COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA.

1.4.1. Descripción Estaciones de la cuenca.

En el presente estudio se tuvo en cuenta todas las estaciones pluviométricas pertenecientes a la cuenca del río Bogotá, sin embargo se descartaron algunas debido a la falta de información, ya que no contaban con distintos periodos de precipitación. Entre tanto se contó con un registro de 15 años empezando desde el mes de enero del año 1998 y finalizando el mes de diciembre del año 2012. En total son 43 estaciones pluviométricas distribuidas a lo largo y ancho de la cuenca, localizadas estratégicamente para medir y cuantificar la lluvia que cae en cada subcuenca.

Imagen 4. Localización espacial de las estaciones en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia, datos suministrados por la CAR- Cundinamarca e IDEAM.

En la presente imagen se observan cuarenta y tres (43) estaciones, escogidas para este estudio, la elección se basó por el amplio registro histórico que manejan cada una de las estaciones, permitiendo una mayor confiabilidad en la validación de datos con el satélite TRMM.

1.4.2. Análisis temporal.

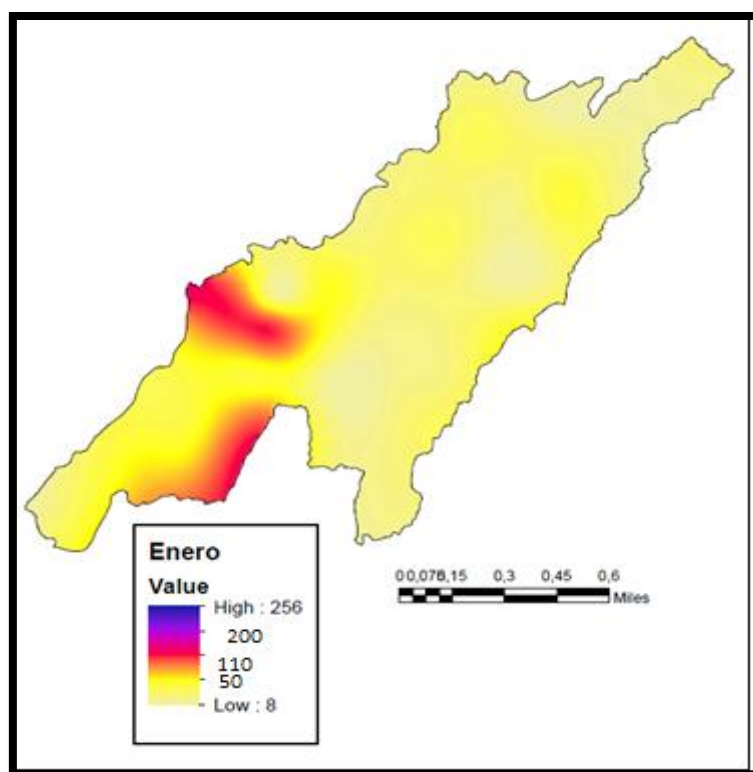
En Colombia el volumen anual de lluvias varía considerablemente entre las diferentes regiones. La ubicación geográfica, la presencia de cordilleras y la influencia que tienen las corrientes continuas de aire húmedo que se originan en los océanos y en la Amazonia juegan un papel importante en la formación de la mayor parte de las lluvias [28].

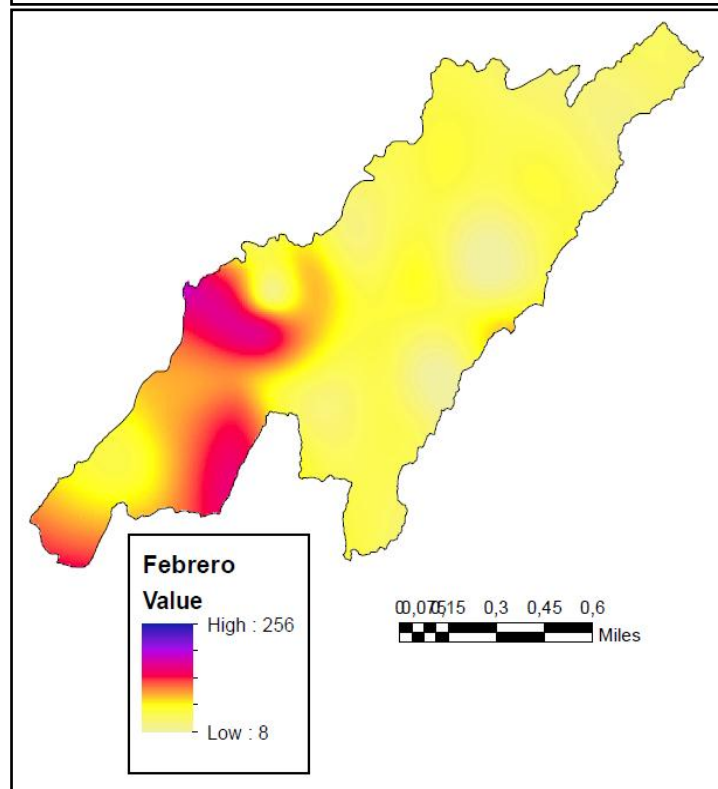
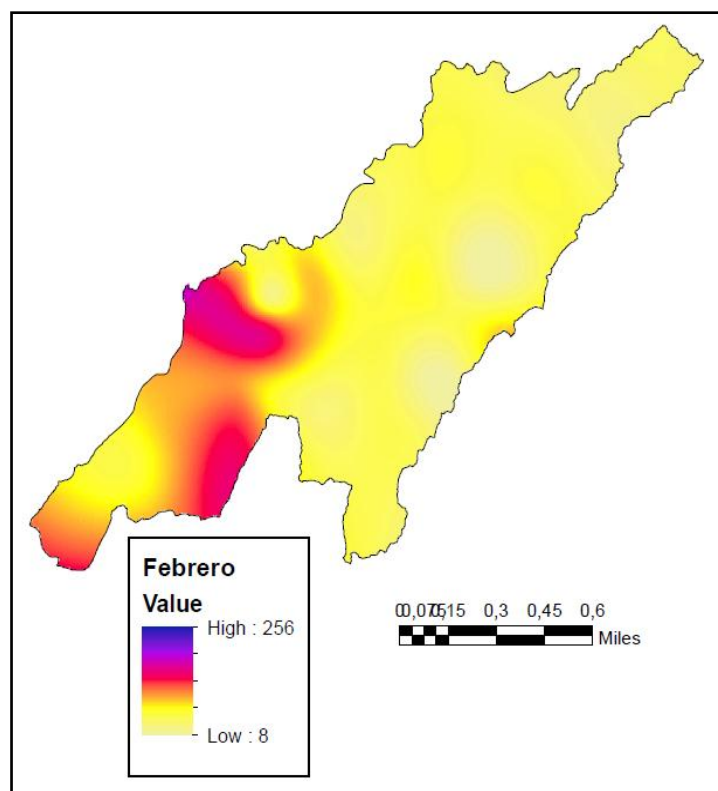
En nuestro país se presentan dos regímenes o patrones de lluvias, uno denominado monomodal, caracterizado por un largo periodo de lluvias que es seguido por un periodo seco; este régimen se presenta principalmente en las zonas sur, norte y occidental del país. El segundo régimen se denomina bimodal, se caracteriza por presentar dos periodos lluviosos intercalados por uno seco. Este régimen se manifiesta principalmente en la zona central, zona donde está ubicada la cuenca del presente proyecto [28].

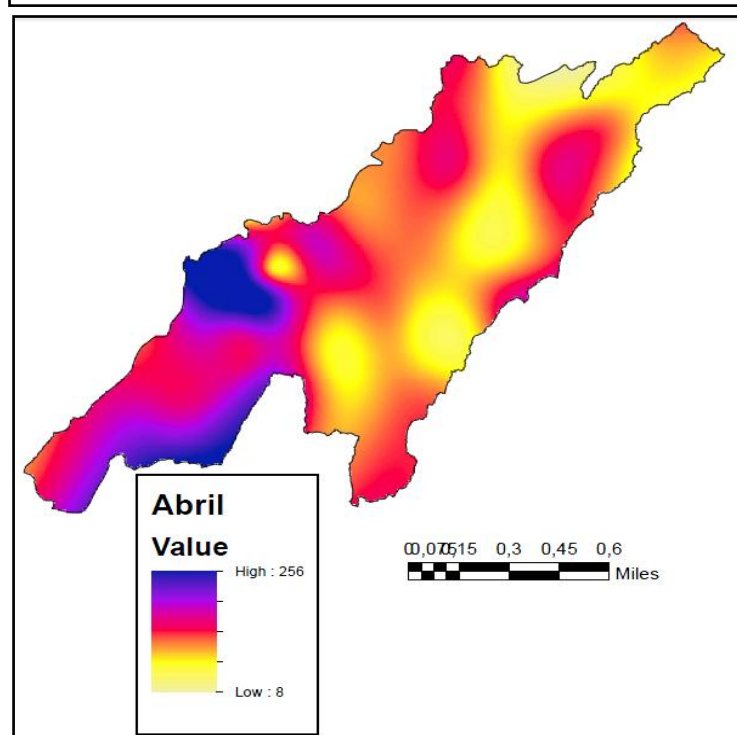
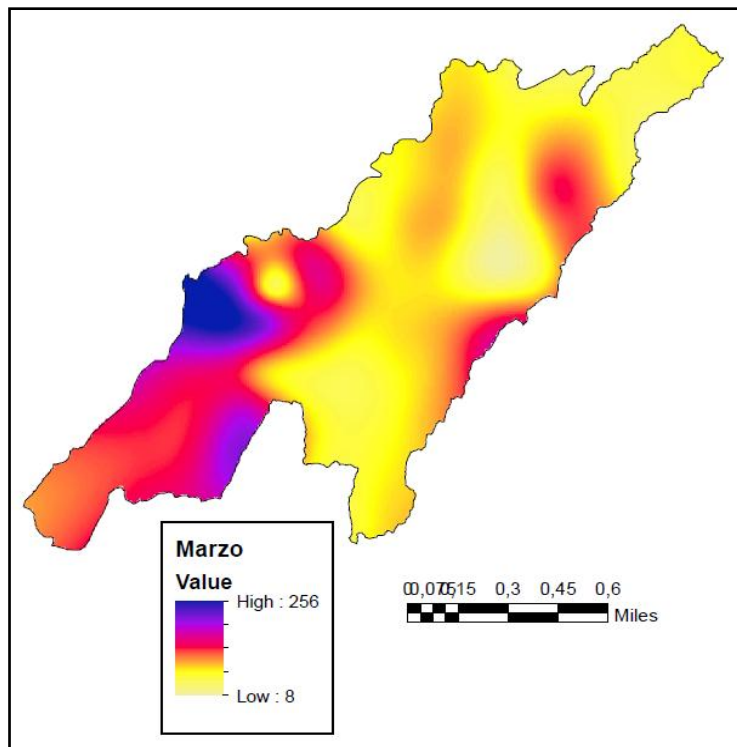
Como se observa a continuación, en la cuenca se registra una precipitación entre 400 y 2200 milímetros anuales, destacándose como las zonas de menor nivel de lluvias la subcuenca río Soacha y parte de las subcuencas río Bogotá, sector Salto Soacha, Embalse Muña, río Bogotá Sector Tibitoc – Soacha y río Balsillas [26]. La mayor precipitación se registra en los extremos orientales de las subcuencas Embalse Tominé y río Teusacá, donde generalmente al oriente de la cuenca la precipitación suele ser mayor.

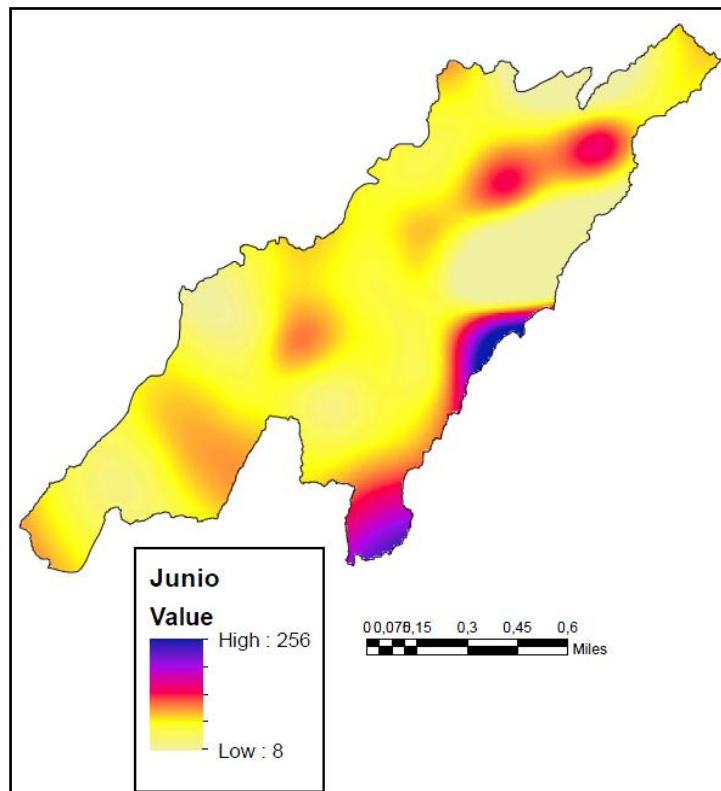
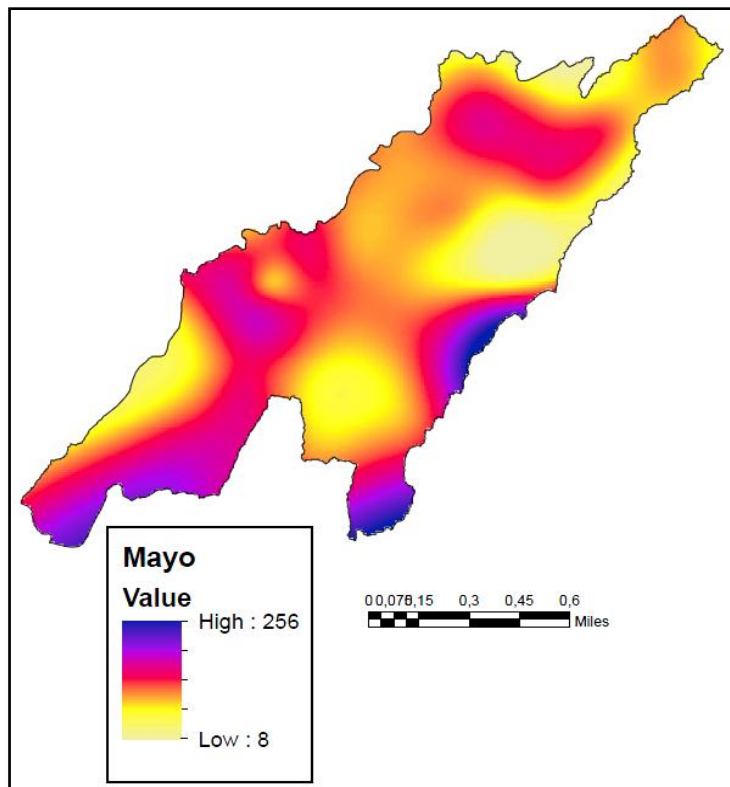
Imagen 5. Regímenes de precipitación media mensual (mm) desde el año 1998 hasta 2012.

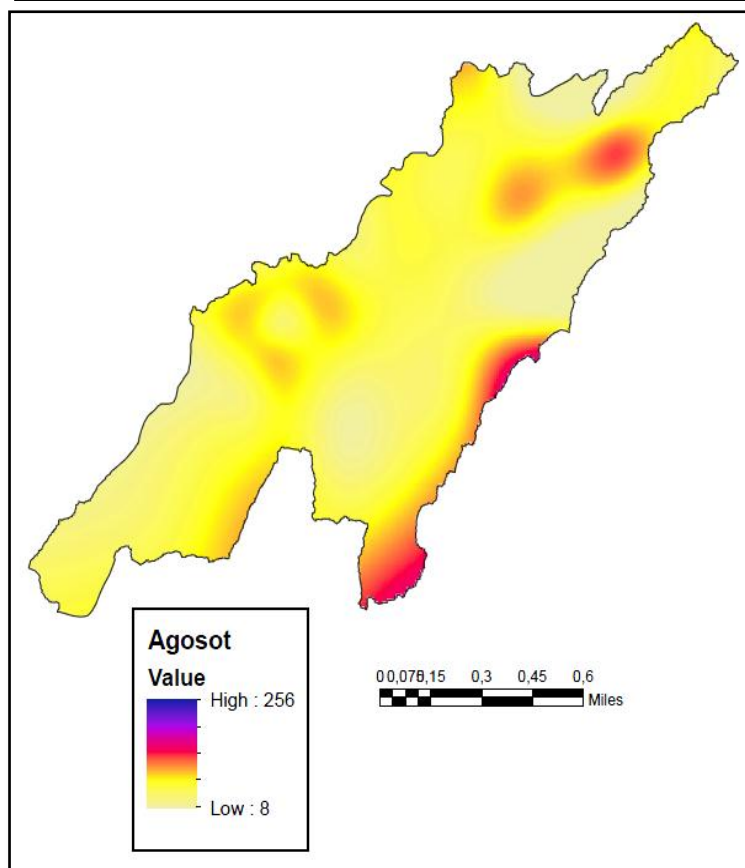
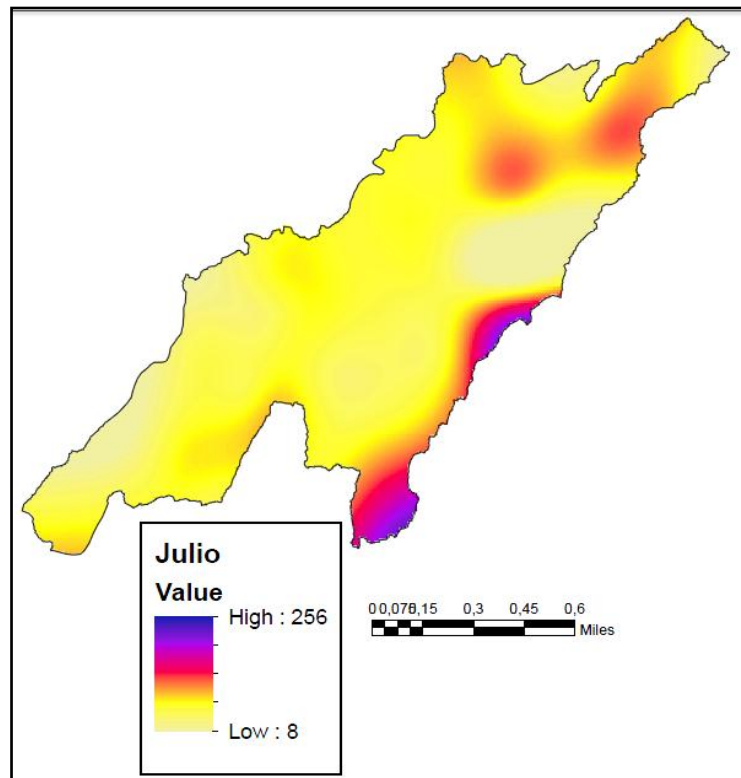
Los colores que comprenden cada mapa comprenden: región de color amarillo, se encuentra dentro de un intervalo de lluvia de 8 a 50mm. La región de color anaranjado se encuentra dentro de un intervalo de 51mm a 109mm, la región de color fucsia presenta un intervalo de 110 a 200 mm y por último la franja de color violeta presenta un rango de 201 a 256mm. Los colores mencionados se tornan oscuros en la medida que se registre mayor precipitación como se puede ver a continuación en los siguientes mapas.

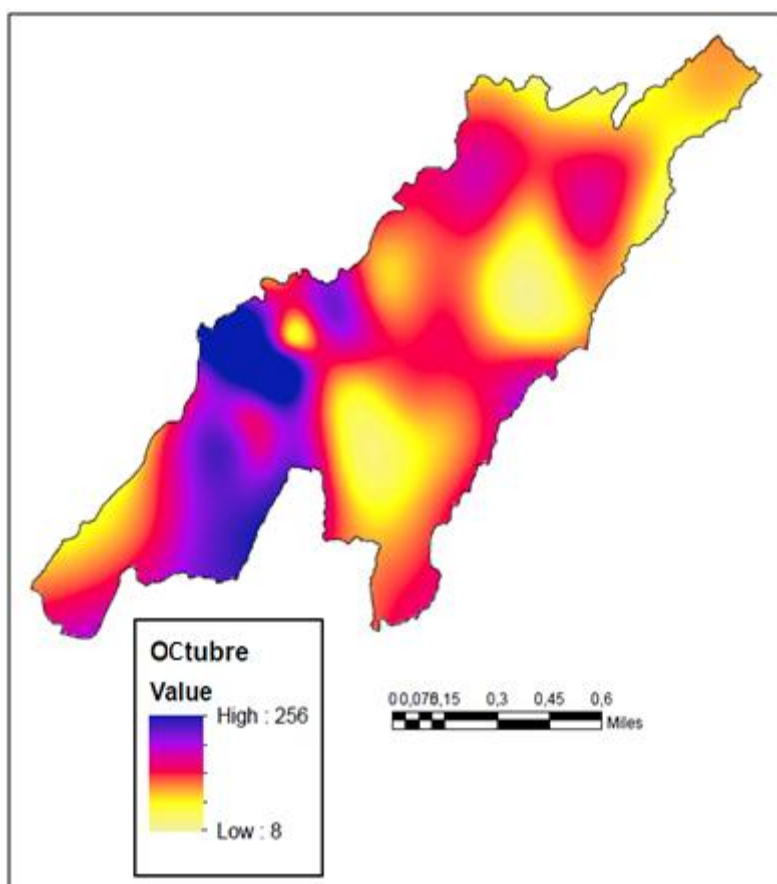
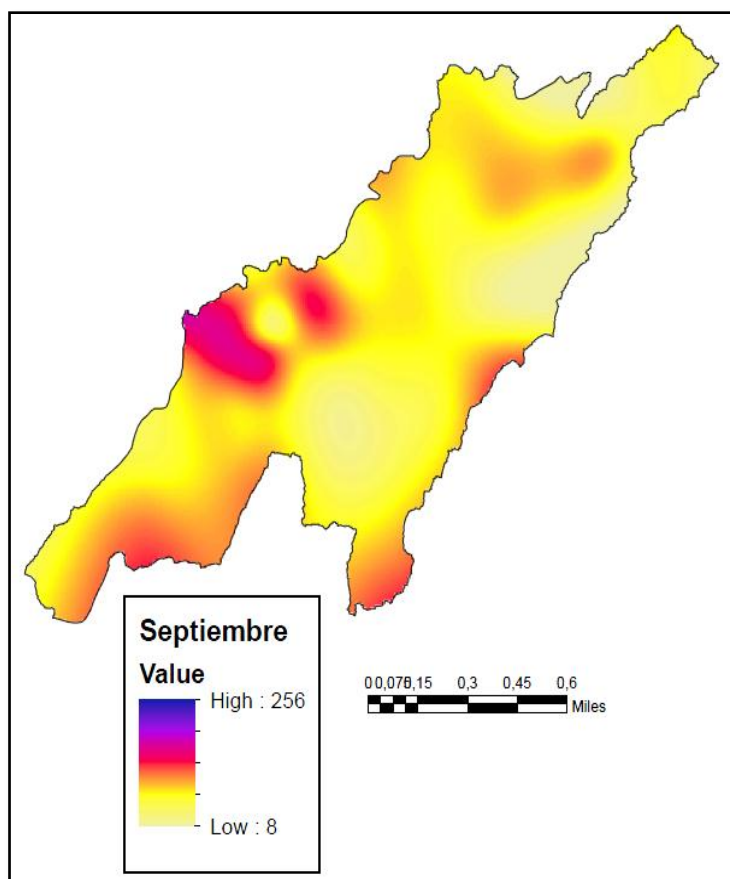


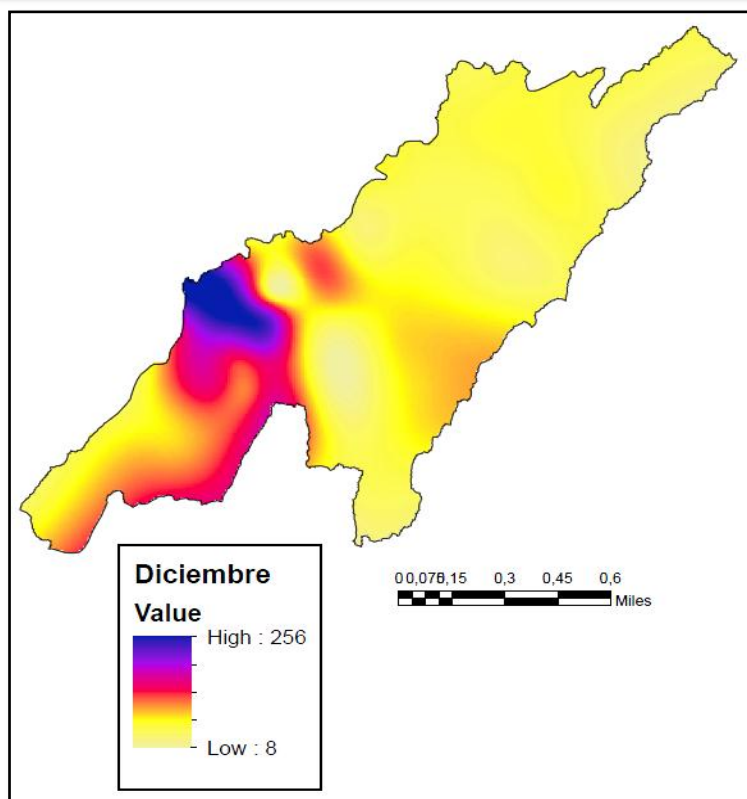
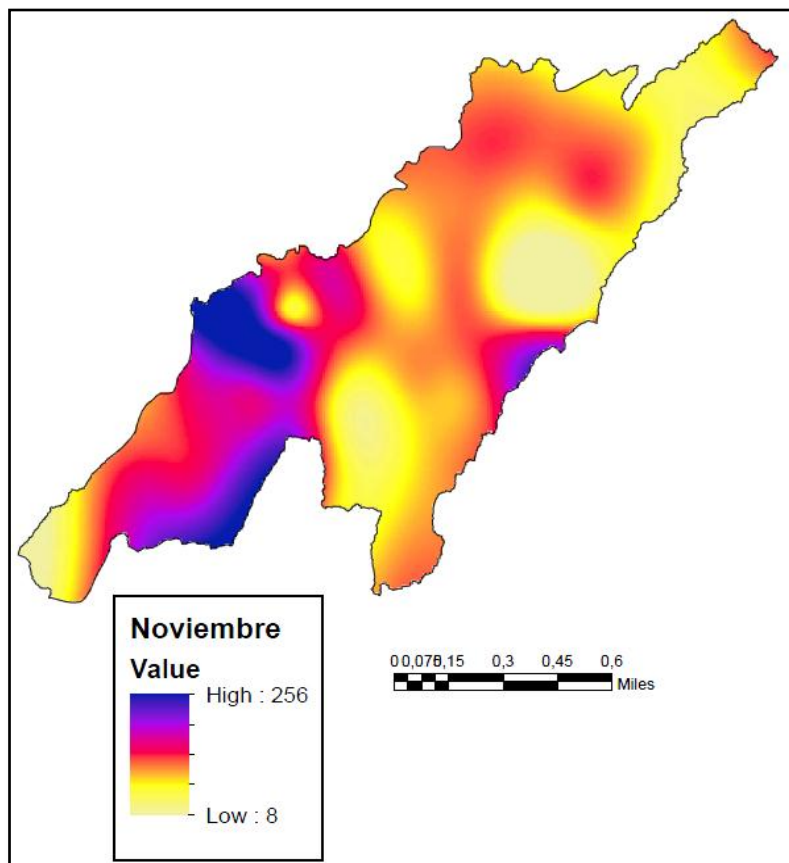












Fuente: Elaboración propia, datos tomados del IDEAM y CAR-Cundinamarca [26].

En los mapas se puede observar la precipitación media mensual desde el año 1998 hasta el 2012. Dicha precipitación es registrada en cada una de las estaciones pluviométricas mostradas en la imagen 4. De esta manera se puede observar en los mapas el comportamiento de la precipitación en distintos sectores de la cuenca.

Los mapas están conformados por isoyetas, las cuales determinan el comportamiento de la precipitación a partir de isolíneas donde cada línea trazada en el mapa establece un régimen de lluvia en función de la zona y la distribución de lluvia. Entre tanto se puede apreciar que cada mapa posee una escala de colores siendo el color amarillo claro, las zonas donde cae poca precipitación, amarillo solar precipitaciones entre 45 - 60 mm, color rojo entre 61 - 120, color violeta entre 121 - 190 mm y color azul, valores por encima de los 200 mm.

Los meses que registraron mayores precipitaciones fueron abril, mayo, octubre y noviembre. Por lo general en estos meses predominaron las lluvias mayores a 180 mm. Por otra parte los meses más secos son enero, febrero, julio y agosto. Y como se puede apreciar en los mapas, en estos meses predominaron las zonas de color amarillo claro y solar. Indica que en muchas zonas de la cuenca la precipitación no sobrepaso los 60mm.

La zona de la cuenca baja y parte de la cuenca media registraron la mayor precipitación en comparación al resto de la cuenca. Zonas que constantemente registran precipitaciones altas, sin embargo para los meses de julio y agosto las precipitaciones suelen ser muy bajas.

Pese a que hubo precipitaciones considerables en varias zonas de la cuenca, no se presentaron grandes cantidades de lluvia como en otras regiones de Colombia, siendo la precipitación más alta 256 mm en el mes de noviembre.

1.5. DESCRIPCION DEL SATELITE TRMM.

La misión de medición pluviométrica tropical (TRMM por sus siglas en ingles), lanzado a finales de 1997 es una misión conjunta entre la NASA y la agencia espacial japonesa JAXA; enviado como el primer instrumento de microondas activas y pasivas de precisión [29]. El TRMM proporciona datos desde vehículos espaciales que miden la distribución vertical de las precipitaciones en los trópicos en una banda de 35° al norte y al sur. Dicha información mejora en gran medida la interacción entre masas marítimas, aéreas y terrestres que producen cambios en la precipitación global. También ayuda a mejorar el modelado de procesos de precipitaciones tropicales y su influencia en la

circulación global que mejora las predicciones de las precipitaciones y su variabilidad de diferentes escalas de tiempo [31].

Tabla 5: características del satélite TRMM

Principales características del satélite TRMM	
Lanzamiento de peso	Aproximadamente 3,62 toneladas
fecha de lanzamiento	28 de noviembre de 1997
Altitud	402,5 Km desde el 24 de agosto de 2001
Inclinación	Aproximadamente 35 grados

Fuente: Análisis y descripción plataforma Giovanni [31]

Los instrumentos que componen dicho satélite son:

- Radar de precipitación (PR)
- Imágenes por microondas (TMI)
- Escáner visible e infrarrojo (VIRS)
- Sistema de energía radiante de la tierra y de las nubes (CERES)
- Sensor de imágenes de relámpagos (LIS)

Ver definición de los instrumentos en la pág. 45

1.5.1. Funcionamiento del satélite TRMM

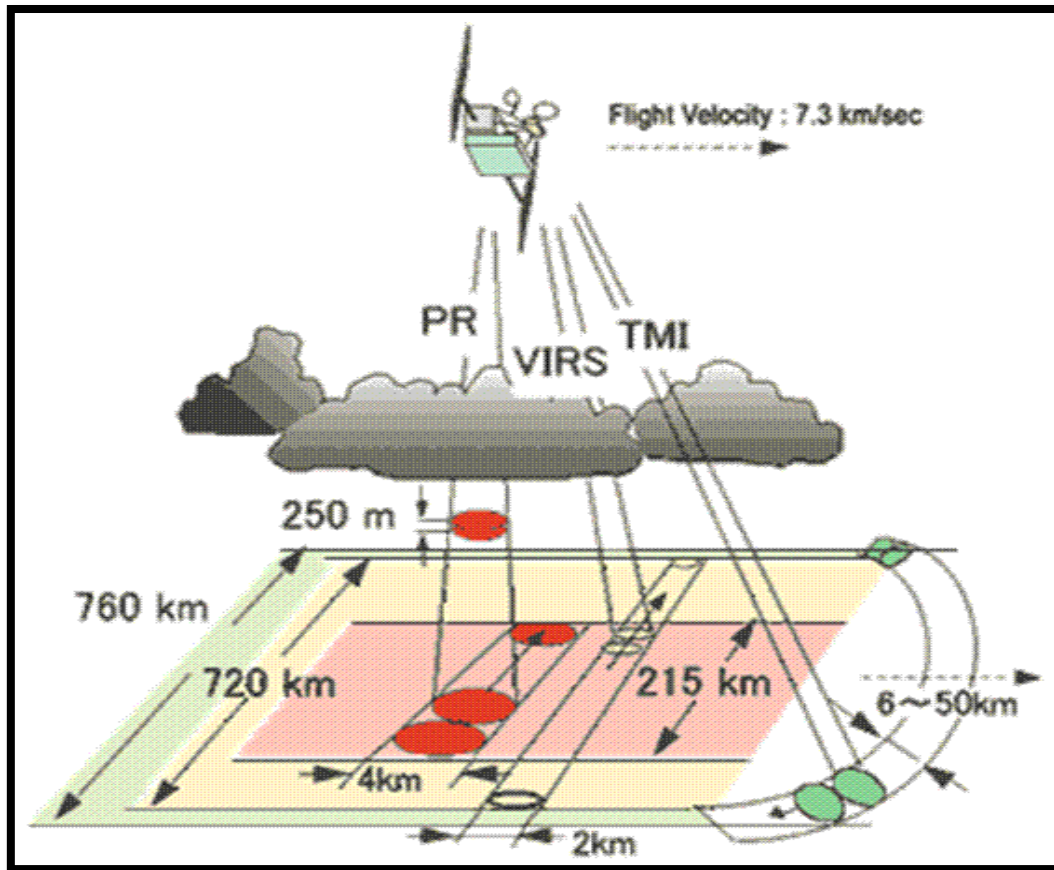
Cuando ocurre el fenómeno de la precipitación, esta entra en contacto con el calor latente de la atmosfera desde la nube hasta caer a la superficie, evaporando de esta forma la lluvia generando de esta forma humedad, dicho calor latente está presente por la radiación que emite el sol y la sensación térmica de la superficie terrestre y corrientes marinas [32]. Se estima que La tasa de liberación de energía por cada mm / hora de la lluvia es tres veces mayor que la energía solar (350 Watts / m² ~) que cae sobre la misma superficie [33].

El satélite entra en funcionamiento por medio del instrumento radar de precipitación desplegando un haz de luz hasta la superficie expandiéndose en un diámetro de 5 KM. El haz de luz hace un barrido horizontalmente por todo el ancho de franja que como se puede ver en la imagen 6 abarca el área de color rosado, mientras el instrumento de sensor de imagen por microondas (TMI) se encarga de enviar ondas de microondas con el fin de detectar los ecos de lluvia capturados por el radar de precipitación, posteriormente cuantifica la

intensidad de lluvia. Por otro lado el instrumento escáner visible e infrarrojo detecta la radiación en 5 bandas espectrales que van desde lo visible hasta lo infrarrojo, dicho instrumento es capaz de delinear las precipitaciones y a la vez servir como una estándar de transferencia de mediciones de lluvia con otros satélites geoestacionarios.

Los instrumentos a bordo del satélite TRMM descritos anteriormente son los más importantes. En lo que respecta a los demás instrumentos como el CERES y LIS poseen funciones importantes pero que no son determinantes para capturar la lluvia y procesarla, sin embargo ayudan a entender de mejor forma el proceso de precipitación en una zona determinada a través de imágenes relámpago realizada por LIS y la energía intercambiada por radiación estimada a través de CERES. Cabe aclarar que los tres instrumentos PM, TMI y VIRS trabajan al mismo tiempo y de manera integrada, como por ejemplo determinado perfiles verticales, estructuras de tormentas, etc.

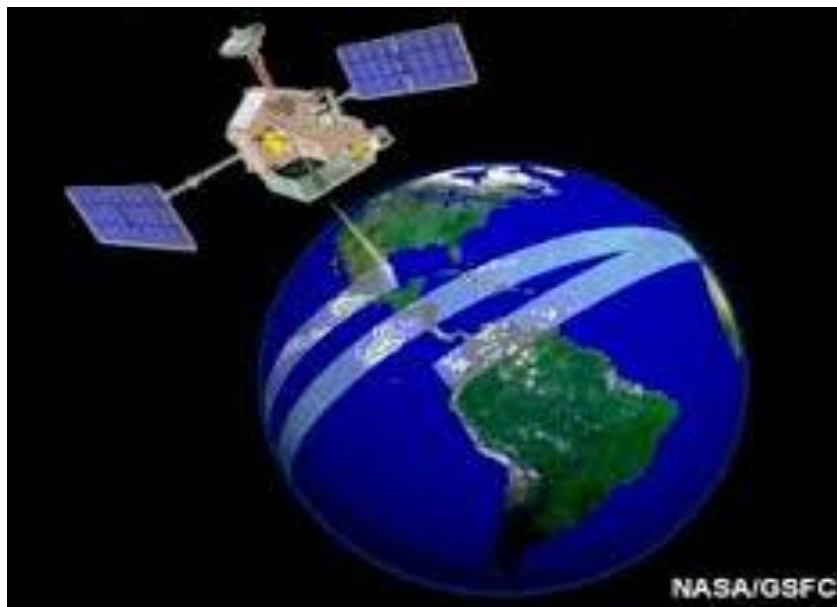
Imagen 6: funcionamiento del satélite TRMM



Fuente: NASA [34].

El satélite está diseñado para recorrer toda la zona tropical a una velocidad de 7,3 km/s desde una altura de 403 km, cubriendo a lo ancho y largo las latitudes norte 35° y sur 35° como se puede ver en la siguiente imagen.

Imagen 7: Franja de barrido del satélite TRMM sobre los trópicos.



Fuente: NASA [35].

1.5.2. Descripción producto TRMM 3B43.

Este producto dado el algoritmo 3B43 es considerado nivel 3 según la clasificación de algoritmos del instructivo V7, el 3B43 cuantifica la lluvia según la cobertura geográfica, latitud 50°S-50°N y longitud 180° W -180°E [36]. Abarcando todas la dimensiones de la zona intertropical mundial, igual que otros productos registra la precipitación en cualquier zona que este dentro de las coordenadas mencionadas, la principal diferencia radica en el tiempo que mide y cuantifica la precipitación; desplegando datos en intervalos de tiempo mensual. En concordancia con lo anterior este producto al igual que muchas estaciones pluviométricas colombianas también es capaz de registrar la precipitación acumulada mensual.

Se escogió el producto del satélite TRMM 3B43, ya que en su mayoría los registros de datos pluviométricos en Colombia, son utilizados en intervalos de tiempo de tipo mensual. Dicho producto transforma los datos del satélite en series históricas de tipo mensual.

Tabla 6. Características principales del producto TRMM 3B43.

TRMM 3B43 Características	
Cobertura Temporal	Fecha de inicio: 1998-01-01
Cobertura Geográfica	Latitud: 50 ° S - 50 ° N; Longitud: 180 ° W - 180 ° E

Resolución Temporal	Mensual
Resolución Horizontal o Espacial	0.25 ° x 0.25 °; NLAT = 400, nlon = 1,440
Tamaño promedio de Archivo	Comprimido: ~ 4,95 MB; original: ~ 4,95 MB
Tipo de Archivo	HDF
Resolución Espectral	5 regiones espectrales

Fuente: Tomado de la base de datos de la NASA [37].

El producto TRMM 3B43 emplea varias características importantes como se ilustra en la tabla 5, pero son 3 las características que diferencia dicho producto de los demás productos del satélite TRMM, y son: la resolución temporal, resolución horizontal y tamaño promedio del archivo.

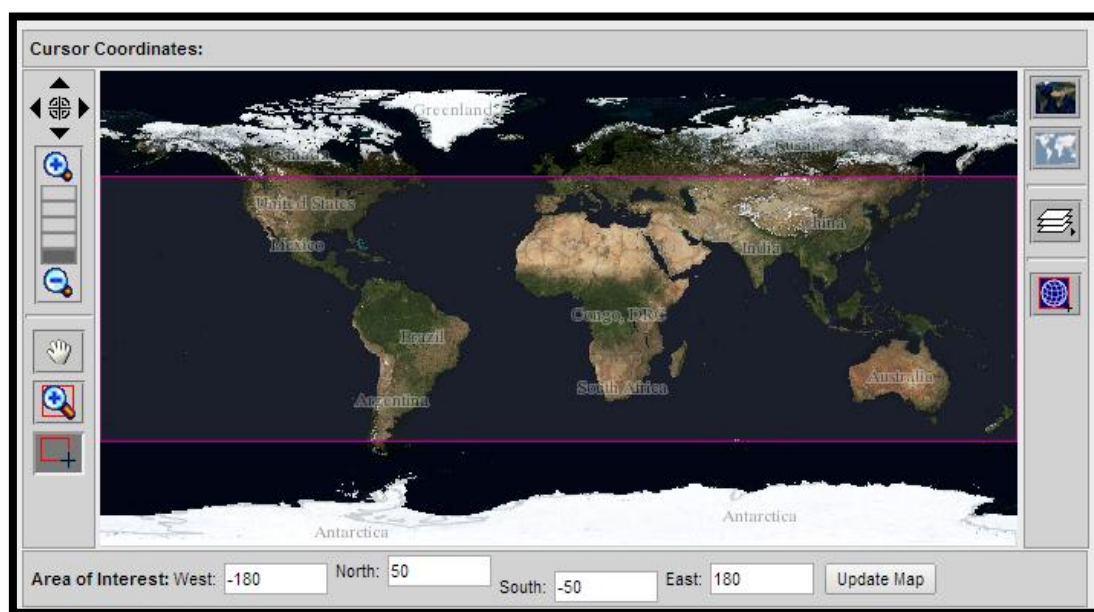
La **resolución temporal**. La resolución temporal del producto 3B43 es mensual, es decir la frecuencia con que despliega imágenes es por mes dada la cobertura geográfica.

La **resolución Espacial** del producto 3B43 posee una resolución horizontal de 0.25°x0.25°, es decir cada pixel tiene una longitud de 27.853 km en cada lado. Cada imagen cuenta con 576.000 pixeles. Y cada pixel contiene un valor de precipitación acumulada para un solo mes.

El **tamaño promedio del archivo** es la cantidad promedio que pesa el archivo en bytes. Para el caso del producto 3B43 cada imagen satelital posee un tamaño promedio de 4.95 MB (mega bytes).

La **resolución espectral** se desarrolla por medio del instrumento escáner visible e infrarrojo (VIRS), a través de las latitudes norte 35° y sur 35°. Detectando la radiación en 5 regiones espectrales que van desde 0,63 a 12 micrómetros [38]. De esta manera se puede observar la intensidad de la radiación en la atmosfera, posteriormente esta información es codificada de manera integrada junto al PR y TMI en un centro de mando para luego ser procesada por los diferentes productos del TRMM y ser visualizada por imágenes de teledetección. En dichas imágenes se puede observar con detenimiento las bandas espectrales visualizadas por medio de imágenes de teledetección. Observando el comportamiento de la precipitación de acuerdo a los espectros capturados por el VIRS.

Imagen 8. Mapa de visualización Geo-espacial del satélite TRMM



Fuente: Tomado de la base de datos de la NASA [39].

En la imagen 8 podemos observar el mapa de visualización del satélite TRMM. A la izquierda de la imagen se observa las distintas herramientas para generar un acercamiento a la zona que se desea ver con mayor profundidad, a su vez en la parte inferior izquierda se aprecia un cuadro rojo con el signo +, esta herramienta permite delimitar la zona y obtener información pluviométrica, generando histogramas, perfiles verticales de lluvia, series de tiempo, gráficos de dispersión, estadísticas de series temporales etc. Pero cuando se procede a descargar los datos, este lo hace para todo el mundo y no en la zona la cual se preciso el polígono con anterioridad.

1.6. ANTECEDENTES.

En Perú se realizó una validación de lluvia utilizando el satélite TRMM en dos cuencas amazónicas pertenecientes a dicho país y la aplicación en modelos hídricos mensuales de balance hídrico [40], comparando los datos de lluvia in situ con los datos de lluvia 3B43 TRMM, además de mejoramientos de los datos de lluvia originales del TRMM 3B43 y así asimilar estas tres bases de datos de lluvia en el modelo hidrológico en un periodo de tiempo mensual y son evaluados por el modelo GR2M; para el presente estudio se utilizaron los modelos digitales de terreno (DEM) presentados por la página web de la NASA, la base de datos de 24 estaciones de lluvia y temperatura (media, máxima y mínima) disponibles a escala mensual que comprenden el periodo de enero de 1998 a diciembre del 2007; los datos de suelo fueron trabajados con

metodología teórica descrita, basada en los datos del Digital Soil Map of the World, también con datos de la capacidad de retención de agua (WHC) y la resolución espacial del producto TRMM 3B43 el cual es de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (aprox 27.8×27.8 km), el mejoramiento de los datos de lluvia del TRMM fue realizado utilizando datos in situ de las estaciones siguiendo las ecuaciones descritas por Collischonn en 2006. Con estos métodos y datos obtienen resultados tales como el coeficiente de correlación de Pearson y error relativo los cuales fueron comparados gráficamente. Se realizaron subestimaciones de lluvias en zonas donde no se contaban con las estaciones pluviométrica, en resumen la introducción de los datos TRMM sin mejoramientos en el modelo GR2M en la cuenca de Maldonadillo, arroja buenos resultados; simulando descargas mensuales (Nash igual a 0.84 y %V igual a 2.22 durante el periodo de calibración), pero valores no aceptables sobre la cuenca del Tambo (Nash igual a 0.57 y %V igual a 12.23 durante el periodo de calibración) usando el mejoramiento se observan mejores resultados; dando como conclusión que los datos del TRMM y su mejoramiento se comportan como los mejores para describir los regímenes hidrológicos sobre regiones con pobre distribución de estaciones pluviométricas [40].

Sobre América latina se realizó la validación del producto de lluvia diaria satélite TRMM 3B42, en comparación con otros satélites que también registran precipitación diaria [41]. Para la comparación se utiliza una red de estaciones con alrededor de 300 mediciones sobre la región montañosa de Colombia, se utiliza para evaluar cinco diferentes satélites de lluvia con estimaciones en días y 0.25° de resolución espacial, interesados por la topografía compleja además que se asocia una alta variabilidad espacial latitudinal y de la precipitación; los productos de las precipitaciones satélite evaluados son TRMM-3B42, TRMM-3B42RT, CMORPH, PERSIANN, y producto de la mezcla de laboratorio de investigación NAVAL (NRL).

los resultados de la validación son buenos para los productos TRMM, dados los coeficientes de correlación que están entre las mediciones de calibre y de las estaciones por satélite entre 0.42 y 0.48, la probabilidad media de tasas de detección y de falsas alarmas son 0.7 y 0.2, respectivamente, también realizan una metodología estadística (HSS) es alta sobre todo para CMORPH y TRMM-3B42, resultados muy alentadores teniendo en cuenta la complejidad de la alta variabilidad espacial del terreno, (la variabilidad del terreno es una variable fundamental para el registro de datos de precipitación del satélite debido a que dicho satélite mide y cuantifica la precipitación de acuerdo a los perfiles verticales de lluvia tomando como punto de partida la filtración del haz de luz que proyecta el satélite en las nubes, donde luego llega a la superficie, y esta distancia es clave para que el satélite TRMM efectúe la operación de distintos comandos incorporados en este y diga el valor de la precipitación registrado en el punto donde se aplicó la medición). aunque se afirma que el rendimiento

global de los productos satelitales es bastante bueno, excepto por PERSIANN y NRL con desempeños bajos, hay que señalar que TRMM 3B42 se ajusta a la calibración utilizando indicadores disponibles de Colombia a través de GTS mientras que la corriente versión de CMORPH no implica un ajuste de calibre. La detección de la ocurrencia de las precipitaciones y la captura de la distribución diaria, se encontró que eran mejores que la obtenida en otra región montañosa de África [41].

Otro estudio utilizando TRMM es la comparación de lluvia de un minuto derivada de los datos de este satélite y datos pluviométricos para aplicaciones de microondas en Nigeria [42], en este estudio se realiza una comparación estadística entre los productos 3A12 y 3B43V6 que aportan 9 años de lluvias obtenidas y la medición de los pluviómetros que están presentes en la zona de estudio de la Agencia Meteorológica de Nigeria con 30 años de medición de lluvias y sus variaciones por 28 estaciones en Nigeria. El método de interpolación de Kriging fue utilizado para los valores de acumulación de lluvia de interpolación espacial en una malla regular con el fin de obtener una variación de caída de la lluvia entre otras de calibre altamente consistente y predecible. Se encontraron grandes diferencias en función de periodo y localización, hay correlación positiva entre los conjuntos de datos que van desde 0.84 a 0.99 de disponibilidad de tiempo comparando con ITU-R 837-5 muestra que el modelo ITU subestima la intensidad de lluvia de hasta 51% a partir de un tema de valor en función de los porcentajes en los que se supera la intensidad de lluvia en el tiempo [42].

En china se realizó un estudio con el satélite TRMM aplicado a la cuenca del río Dongjiang. Donde se han combinado los datos de PR y TMI para estimar la influencia del espectro de tamaño de las gotas de lluvia sobre la inversión de las precipitaciones. En este estudio se han utilizado los resultados de la observación de PR y TMI para realizar estadísticas y análisis de la precipitación convectiva de la tierra con el fin de conseguir una mejor ilustración de ese fenómeno [43].

El propósito es conocer un paso más sobre el ciclo hidrológico y energético global a través de la investigación sobre las precipitaciones y el calor latente en la zona tropical y la influencia de las lluvias tropicales, para mejorar diversos pronósticos climáticos, ya sea a corto, mediano y largo plazo. De esta manera predecir fenómenos como el niño, oscilación meridional y agitación de la atmósfera tropical. El documento utiliza diferentes índices de estimación de la de lluvia para estimar la precisión de los datos de precipitación en tiempo real obtenidos del satélite TRMM en la cuenca del río East River del sur de China de acuerdo con la estación de datos observados.

Entre tanto los resultados indican que los datos TRMM cuenta con un excelente correlación con la estación de los datos observados en la cuenca del río East River en el sur de China, y los datos de precipitación del TRMM se pueden utilizar para estudiar simulación y los recursos hídricos hidrológicos después de la calibración sistémica. En general, los datos de precipitaciones de TRMM son fiables y con un coeficiente de correlación de 0,820. Al mismo tiempo, el valor promedio de caudal simulado con datos TRMM es menor que la simulada por la precipitación observada. [43]

Un estudio en Beijing- China estudia la radiación solar global (GSR) que se requiere en un gran número de campos. Muchos esquemas de parametrización se han desarrollado para estimar el uso de variables meteorológicas medidas de forma rutinaria, GSR mide directamente un número limitado de estaciones. Aun así, las estaciones meteorológicas son escasas, sobre todo, en zonas remotas [44].

En ese estudio, se utiliza la red neuronal artificial (ANN) para construir la relación matemática entre los productos de detección medidos-media mensual diaria GSR y varios de alto nivel a distancia disponible para el público como los del satélite TRMM, incluyendo la resolución moderada mensual (MODIS) promedio de la superficie terrestre de temperatura (LST) y el número de días en los que la recuperación de LST se realiza en 1 mes.

Las estimaciones GSR según ANN son verificadas contra las medidas del suelo en 12 estaciones de radiación. Entonces, las comparaciones se realizan entre tres estimaciones GS, una estimación basada en los datos de superficie, y un producto de la teledetección por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA). Los Resultados de la validación indican que el método basado en ANN presentado en este estudio puede estimar GSR diaria-mensual media en una resolución espacial de unos 5 km con una alta precisión dados los datos del TRMM. [44]

2. MARCO TEORICO

2.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación se define como cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo [45]. Esta se genera donde las extensas masas de aire experimentan una continua disminución de las temperaturas por debajo del punto de rocío, formando la precipitación que adquiere una considerable magnitud. Además, requiere un ascenso de la masa de aire hasta elevadas cotas [46].

Según expertos en estudios meteorológicos e hidrológicos La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología [47]. La precipitación juega un papel fundamental en el comportamiento de distintos factores ambientales, para ello es indispensable predecir su variación.

2.1.1. Formación de la precipitación.

Principalmente parte por el movimiento dinámico de las masas de aire propagando la saturación del aire húmedo y posteriormente generando la formación de nubes, esta se precipita y caen las gotas de lluvia. Debido a la complejidad de estos movimientos de masas de aire y factores climáticos que interviene se designan los tipos de formaciones [48]. Una de ellas requiere el ascenso de una masa de aire en la atmósfera, de tal manera que esta se enfría y se condensa para formar la lluvia.

Las condiciones que propician la caída de la precipitación son: Ascenso de aire y su enfriamiento, condensación de vapor de agua y formación de nubes, Fuerte concentración de humedad, crecimiento de gotitas de agua de las nubes [49].

2.1.2. Medición de la precipitación.

La unidad que predomina para medir y registrar la precipitación es el milímetro (mm), es una medida que equivale a una milésima parte del metro [50]. El mm también puede ser interpretado como un litro por metro cuadrado (L/m^2). El milímetro es usado en todas las fases del presente proyecto.

Para efectuar la medición de la precipitación las estaciones pluviométricas cuentan con pluviómetros o en su defecto un pluviógrafo.

Un **pluviómetro** recoge una muestra de precipitación. Cuanto mayor es el tamaño de la muestra, en este caso la superficie de colecta, mayor es la precisión de la estimación, pero también puede ser menor la practicidad. El área de colecta que tienen los pluviómetros de la red pluviométrica nacional (avalados por la OMM) es de 200 cm^2 , es de forma circular y tiene el borde biselado. Como el pluviómetro se mide una vez al día, es necesario prever algún mecanismo para minimizar la evaporación del agua colectada. La medición de la precipitación se realiza midiendo el agua almacenada en el recipiente con una probeta especialmente graduada para ese fin. Esta probeta especial es un accesorio que viene con el pluviómetro [50].

Un **pluviógrafo** Proporciona información acerca del inicio, duración e intensidad de la lluvia. Existen distintos tipos de pluviógrafo, siendo el más corriente el de sifón. En el sifón el agua recogida pasa a un depósito con una boya. El movimiento ascendente de la boya al llenarse es transmitido a una plumilla que va dejando el registro en una banda. La pendiente de la gráfica en su subida indica la intensidad de la lluvia [51].

2.1.3. Precipitación media mensual (PMM).

La precipitación media mensual se define como el promedio aritmético de un grupo de precipitaciones en un mismo mes [52].

La creciente necesidad de un conocimiento de la hidrología Colombiana en áreas como planeación territorial, la evaluación del potencial de aprovechamiento hidráulico, la producción agropecuaria, entre otras, ha motivado el estudio de la distribución espacial sobre Colombia respecto al comportamiento a largo plazo de las variables hidrológicas de mayor importancia (precipitación, evaporación, evapotranspiración, escorrentía) [53]. En Colombia es muy usada la variable PMM por distintos institutos hidrometeorológicos para la predicción de la misma.

2.2. DESCRIPCION DE METODOLOGIAS USADAS PARA LA ESTIMACION DE DATOS FALTANTES.

Muchas veces las bases de datos pluviométricas, donde se registra la precipitación; suelen tener datos faltantes y esto es debido a que los instrumentos (pluviómetros o pluviógrafos) se dañan, necesitan ser calibrados o reparados, por lo que se generan lapsos de tiempo que las estaciones dejan de cumplir su función. Surge la necesidad de completar estos datos faltantes a través de predicciones estadísticas [54].

2.2.1. Método de regresión lineal simple.

El análisis de regresión es una técnica para investigar y modelar la relación entre variables. Aplicaciones de regresión son numerosas y ocurren en casi todos los campos, incluyendo ingeniería, física, ciencias económicas, ciencias biológicas y de la salud, como también ciencias sociales [55]. El objetivo de la regresión es la estimación de los parámetros.

La regresión lineal simple es la relación entre dos variables en una línea recta. Donde se tiene que: los pares de observaciones de “Y” y “X” donde “Y”, es

la variable dependiente y "X", la variable independiente. Se considera un modelo lineal cuando los parámetros ocurren de manera lineal [55]. La regresión lineal simple está dada por la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X$$

Siendo:

Y la variable dependiente.

β_1 Es el intercepto y constante del parámetro.

β_2 Es la pendiente de la recta.

X Es la variable independiente.

2.2.2. Método de regresión múltiple.

Mediante un modelo de regresión lineal múltiple (MRLM) se trata de explicar el comportamiento de una determinada variable que se denomina variable a explicar, variable endógena o variable dependiente, (y se representa con la letra Y) en función de un conjunto de k variables explicativas $X_1, X_2, \dots, X_k$ mediante una relación de dependencia lineal (suponiendo $X_1 = 1$) [56]. La ecuación que determina dicha regresión múltiple es:

$Y = \beta_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_k \cdot X_k + U$ siendo U el término de perturbación o error.

Para determinar el modelo anterior, es necesario hallar el valor de los coeficientes $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$. La linealidad en parámetros posibilita la interpretación correcta de los parámetros del modelo. Este modelo es más preciso que el de regresión lineal debido a que incorpora más información sobre el parámetro que se quiere ajustar.

2.3. SATELITE TRMM.

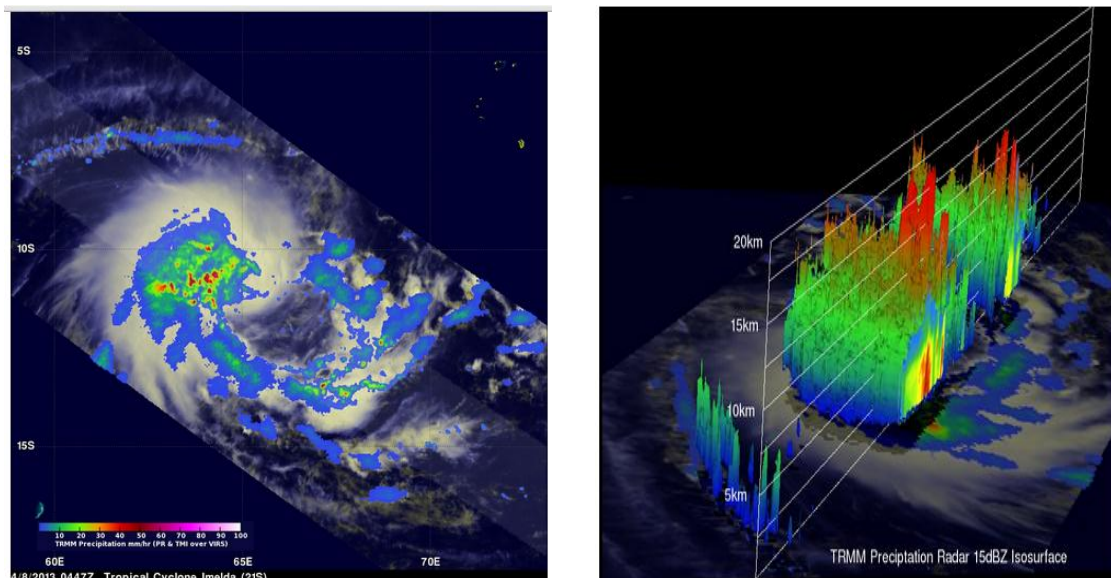
2.3.1. Instrumentos del satélite TRMM.

El satélite TRMM consta de cinco instrumentos fundamentales para la adquisición e interpretación de los datos meteorológicos a través de mapas de alta resolución. Estos instrumentos tienen la capacidad de trabajar juntos y propagar la información a redes y centros de investigación científica en tiempo real. A continuación se presentan cada uno de los instrumentos que componen dicho satélite.

2.3.1.1. Radar de precipitación (PR).

El radar de precipitación fue el primer instrumento a bordo del vehículo espacial diseñado para proporcionar mapas tridimensionales de la estructura de la tormenta. Estas medidas dan información muy valiosa sobre la intensidad y la distribución de la lluvia, del tipo de la lluvia, de la profundidad de la tormenta y de la altura a la que la nieve se derrite en forma de lluvia. Las estimaciones del calor liberado a la atmósfera a diferentes alturas sobre la base de estas mediciones se pueden utilizar para mejorar los modelos de la circulación global de la atmósfera [57]. Este instrumento es uno de los más importantes y utilizados, ya que se encarga de medir y generar distintos mapas tridimensionales identificando el comportamiento de la lluvia en una zona determinada.

Figura 9. Mapas tridimensionales generados por el radar de precipitación.



Fuente: Tomado de la base de datos de la NASA [57].

A la izquierda de la imagen se muestra un ciclón tropical, captado por el radar de precipitación y el Microondas de imagen, capaz de definir con precisión la intensidad de lluvia que tiene la tormenta. A la derecha de la imagen se puede observar los perfiles verticales de lluvia, generados a partir del haz de luz, de este modo determina la acumulación de lluvia en una zona, a partir de la altura de los perfiles.

2.3.1.2. Imagen microondas (TMI).

Es un sensor de microondas pasivo diseñado para proporcionar información cuantitativa sobre las precipitaciones de una amplia franja bajo el satélite

TRMM. Midiendo cuidadosamente las cantidades de energía de microondas emitida por la Tierra y su atmósfera, TMI es capaz de cuantificar el vapor de agua, el agua de las nubes, y la intensidad de la lluvia en la atmósfera. Es un pequeño instrumento a bordo del satélite que consume poca energía [57]. El cálculo de las tasas de precipitación requiere cálculos bastante complicados, basándose en la ley de radiación de Planck que describe la cantidad de energía que irradia un cuerpo dado su temperatura, sin embargo surgen contrastes de temperatura en las mediciones de superficies de agua (océanos) y tierra, debido a que los océanos, poseen la mitad de la temperatura real de la superficie terrestre generando que las superficies de agua se vean muy frías. Pero lo anterior no es impedimento para el TMI ya que posee microondas de alta frecuencia (85,5 GHz) capaz de detectar el calor sensible de ambos cuerpos detectando el contraste de fondos calientes y fríos.

2.3.1.3. Escáner Visible e Infrarrojo (VIRS).

Es uno de los principales instrumentos a bordo del TRMM. Como su nombre lo indica, VIRS detecta la radiación que viene de la Tierra en cinco regiones espectrales, que van desde lo visible hasta el infrarrojo, de 0,63 a 12 micrómetros. VIRS está incluido en el paquete de instrumentos principal, por dos razones. En primer lugar es su capacidad para delinear las precipitaciones. El segundo, y más importante razón es la de servir como un estándar de transferencia a otras. La intensidad de la radiación en las diferentes regiones espectrales (o bandas) se puede utilizar para determinar el brillo (visible e infrarrojo cercano) o la temperatura (infrarrojos) de la fuente [57]. Este instrumento es clave para medir y registrar las temperaturas, pero a la vez posee la función de generar imágenes relámpagos que ayudan a pronosticar la temperatura y precipitación de una zona.

2.3.1.4. Las nubes y el sistema de energía radiante de la tierra (CERES).

Las nubes y el Sistema de Energía Radiante de la Tierra (CERES). Los datos del instrumento CERES se pueden utilizar para estudiar la energía intercambiada entre el Sol, la atmósfera de la Tierra, la superficie y las nubes, y el espacio. Sin embargo, sólo funciona durante enero-agosto de 1998 y marzo de 2000, por lo que el registro de los datos disponibles es bastante breve. [57] Los científicos han estado trabajando durante décadas para entender este balance energético crítico para entender el presupuesto de la energía entrante y saliente, llamado balance de radiación de la Tierra.

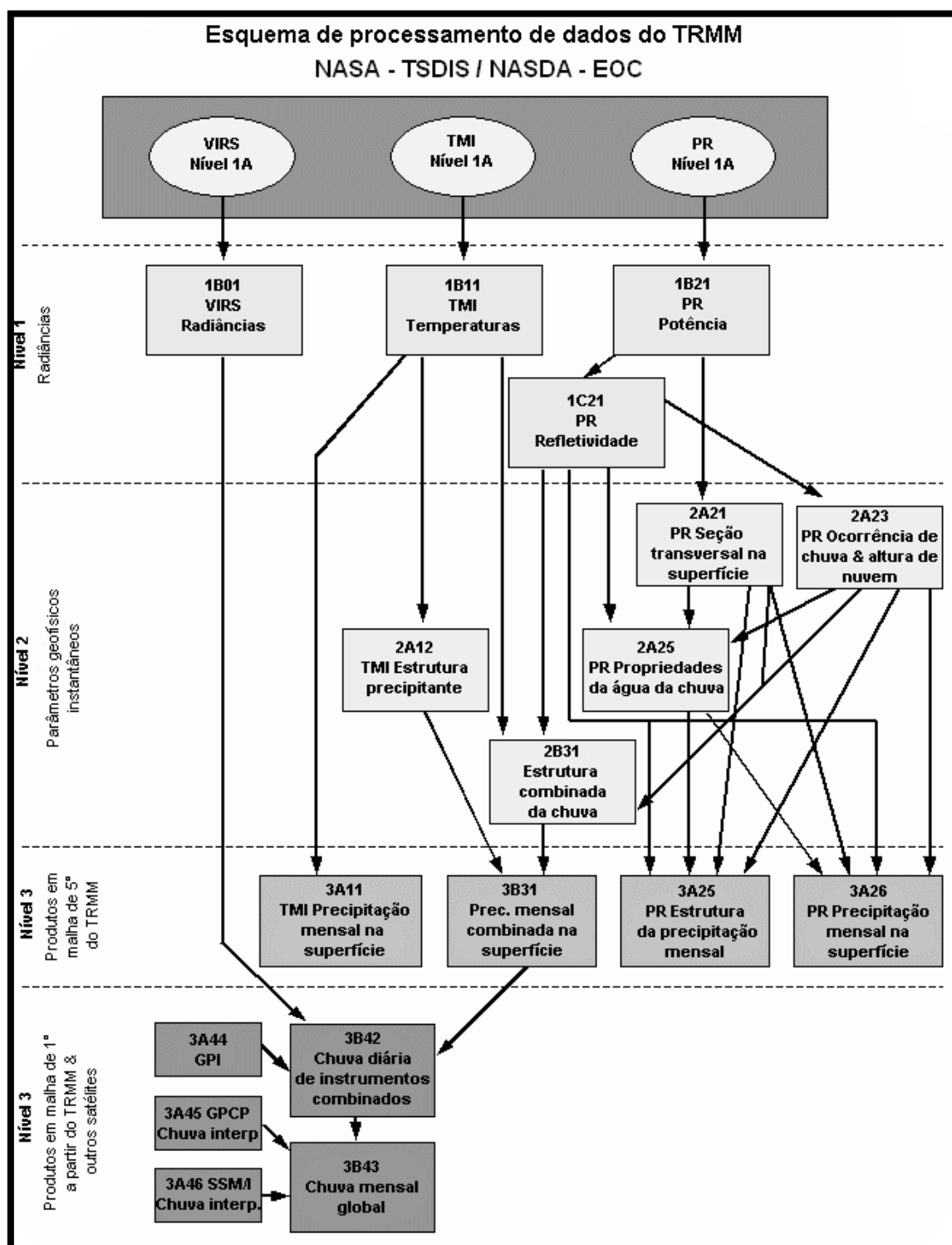
2.3.1.5. Sensor de imágenes de relámpagos.

El Sensor de Imágenes de Relámpagos es un instrumento pequeño, muy sofisticado que detecta y localiza un rayo sobre la región tropical del mundo. Mirando hacia abajo desde un punto a bordo de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM) observatorio, 402 kilómetros por encima de la Tierra vista, el sensor proporciona información atreves de rayos en puntos geoestacionarios de manera precisa y rápida, en tiempos que no van más allá de los 30 segundos, este sensor trabaja de día y de noche pronosticando distintos fenómenos naturales como por ejemplo las tormentas así como avisos de tormentas severas [57].

2.3.2. Productos TRMM.

Los productos del satélite están dados por distintos algoritmos, los cuales reciben ese algoritmo de acuerdo a los niveles 1, 2 y 3. Y se clasifican según su función; En el nivel 1 se puede encontrar productos de estructuración de datos y de calibración para el instrumento PR (radar de precipitación), también realiza ajustes en la reflectividad del PR. El nivel 2 se pueden encontrar productos que aumentan la resolución espacial respecto a las grillas y datos se utilizan para determina la altura. El nivel 3 ofrece valores estadísticos mensuales de los parámetros de lluvia principalmente en grillas de 5°x5° [36].

Imagen 10. Flujo de procesamiento de datos de los productos TRMM.



Fuente: Bruno Collisconn, Porto Alegre [58]

En la imagen anterior se puede observar que solo intervienen 3 de los 5 instrumentos a bordo del satélite, en el manejo de los productos TRMM; y son: TMI (microondas de imagen), PR (radar de precipitación) y VIRS (escáner visible e infrarrojo). El proceso de estructurar la información comienza en el

nivel 1 a través de los productos 1B01, 1B11, 1B21 y 1C21. El producto 1B01 calibra y define las bandas espectrales para ser vistas en el producto 3B42. Por otro lado los demás productos del nivel 1 calibran y estructuran variables para que se puedan interpretar las lecturas de tormentas, precipitación y temperatura. Los productos del nivel 2 interrelacionan comandos definiendo la resolución espacial de las grillas y clasificando las propiedades del agua que se requieran según el estudio, por ejemplo cristales de nieve, temperatura, lluvia etc. El nivel 3 establece los intervalos de tiempo que definen la composición de los datos. Para convertirlos en mensuales o diarios corregidos a razón de estructuras verticales.

Tabla 7. Características de los principales productos del TRMM.

No Producto	Nombre	Productos	Descripción Algoritmo
1B21	Calibración PR lluvia/no lluvia	Potencia total recibida, Nivel de ruido Clutter. Bandera de contaminación.	La conversión del valor en el recuento de ecos de radar y el nivel de ruido en el valor de la ingeniería. Determinación de la altura efectiva de la tormenta desde el mínimo Valor de potencia detectable. Rechazo de lóbulo principal y el lóbulo lateral desorden.
1C21	Reflectividad PR	Perfil Zm (radar De factores de reflectividad sin lluvia en atenuación para la corrección).	La conversión de la energía y valores de reflectividad de ruido del radar para factores Zm sin corrección de atenuación por lluvia.
2A21	Coeficiente de superficie de dispersión α	Ruta de acceso integrado. atenuación (PIA) de α (en caso de lluvia) y su fiabilidad. datos base del α (océano / tierra, en caso de no lluvia)	Estimación de la ruta de acceso integrado atenuación y su fiabilidad utilizando la superficie como un objetivo de referencia. La estadística espacial y temporal de superficie α y clasificación de α En la tierra / océano, lluvia / lluvia.
2A23	PR cualitativo	La detección de brillante De las bandas, altura, fuerza, anchura, tipo de lluvia clasificación, y detección de profundidad de	Sobre la existencia de una banda brillante en la lluvia ecos o no, y la determinación de Altura banda brillante cuando existe. El tipo de lluvia se clasifica en tipo estratiforme, tipo

		lluvia aislada. salida de lluvia / no bandera lluvia, Altura de la parte superior de tormenta.	convectivo u otros.
2A25	PR perfil	Perfiles gama de atenuación-correcto reflectividad radar factores, la intensidad de lluvia. Estimado cerca de la superficie, las precipitaciones, la precipitación pluvial promedio entre los dos altura predefinida (2,4 km).	La estimación de la intensidad de lluvia se da en cada celda de resolución. Este algoritmo emplea un método híbrido del método de referencia de la superficie y el Método Hitschfeld-Bordan. Contenido de agua Las precipitaciones de los 5 Altitudes y verticalmente integrada. contenido de agua de precipitación son también Calculados.
3A25	El espacio-tiempo promedio de radar productos	Promedios de espacio-tiempo de acumulaciones de 1C21, 2A21, 2A23, 2A25.	Cálculo de diversas estadísticas sobre un mes a partir de la salida PR nivel 2. Cuatro tipos de estadísticas son Calculadas. 1. Probabilidades de ocurrencia, 2.medios y estándar desviaciones, 3. histogramas,4.coeficientes de correlación.
3A26	Estimación de espacio-tiempo tasa de lluvia estadística	Estadísticas de los tipos Rain más de 5 grados x 5 grado 1 mes regiones del espacio-tiempo usando un múltiplo thresholding Técnica.	Los valores estimados de la probabilidad función de distribución de la tasa de lluvia del espacio-tiempo en 4 niveles, y la, desviación estándar media, y así en.

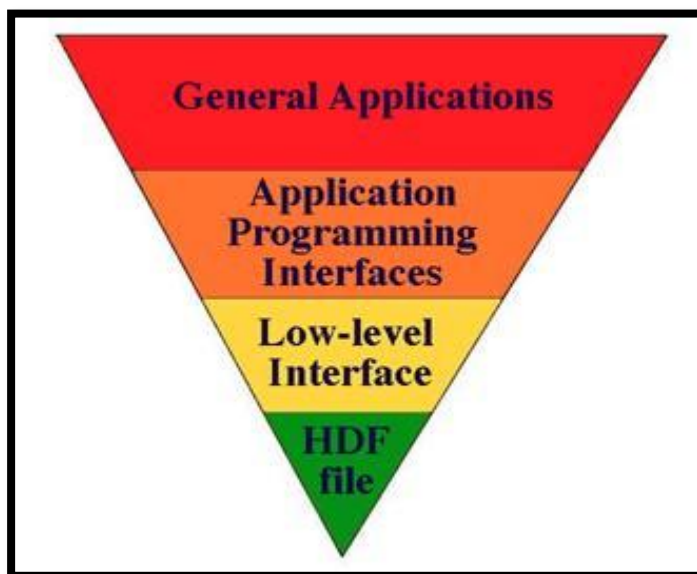
Fuente: Elaboración propia, datos tomados de Manual instructivo TRMM V7 [36].

En la tabla 5 se puede observar las características de los diferentes productos respecto a la descripción del algoritmo. Cabe resaltar que todos los productos vistos en la tabla codifican la información con el fin de hacer funcionar el producto TRMM 3B43 calibrando los coeficientes y estructurando el almacenamiento de datos. Dicho producto se utiliza en el presente proyecto.

2.3.3. Formato de archivo.

Para la visualización de los mapas que contienen información del satélite TRMM es necesario comprender los archivos HDF, formato de archivo utilizado por la NASA para el almacenamiento de datos científicos.

Imagen 11. Niveles HDF



Fuente: The HDF group [59]

En la imagen anterior se puede observar una clasificación por niveles del formato HDF de acuerdo al manejo y la programación de datos. En su nivel más bajo (amarillo), HDF es un formato de archivo físico para el almacenamiento de los datos científicos. En su nivel más alto, HDF es una colección de utilidades y aplicaciones para la manipulación, visualización y análisis de datos en los archivos HDF [59]. Entre estos niveles, HDF es una biblioteca de software que proporciona aplicaciones generales de alto nivel y una interfaz de datos de bajo nivel. El nivel de HDF a utilizar en el presente proyecto es el nivel más alto de acuerdo a la visualización y análisis de datos.

2.4. ANALISIS ESTADISTICO.

Los resultados de los métodos aplicados fueron evaluados por medio de herramientas estadísticas tales como el coeficiente de correlación y el error absoluto medio.

2.4.1. Coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación utilizado para el presente proyecto es el de **Pearson**. Es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, sin embargo existen casos donde se presenta una fuerte relación entre variables, pero no de forma lineal, en este caso no puede aplicarse la correlación de Pearson [60].

En primera instancia, sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Esto es, si tenemos dos variables X e Y, y definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como “ r_{xy} ” entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

En el presente intervalo ha de indicarse que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. [60].

2.4.2. Error absoluto medio (EAM).

Se define como el promedio aritmético de cada uno de los errores absolutos, siendo el error absoluto la diferencia que existe entre el valor real de la magnitud a medir y el obtenido en una medida. Puesto que es una diferencia de valores de una misma magnitud, el error absoluto se expresa en las mismas unidades que la magnitud. Así pues, si X_i es el valor medido, X_v el valor real y Δx del error instrumental o sensibilidad del aparato de medida, satisface la relación [61].

Calculo error absoluto.

$$\Delta x = [X_i - X_v]$$

Calculo del error absoluto medio:

$$EAM = \sum (\Delta x) / n$$

Siendo n la cantidad de errores absolutos y $\sum (\Delta x)$ la sumatoria de cada uno de los Δx , dada la diferencia de X_i y X_v .

2.5. METODO DE INTERPOLACIÓN KRIGING.

Es un método basado en auto correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador lineal insesgado que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos. Asume que la media, aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias. [62] Permite transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error. El método de kriging es usado en el presente estudio para predecir el comportamiento de los índices estadísticos (coeficiente de correlación y error absoluto medio) en lugares donde no se tiene información alguna.

El método de Kriging se clasifica en tres diferentes métodos de variaciones, entre ellos están:

- Kriging Simple (SK).
- Kriging Ordinario (OK).
- Kriging Universal (UK).

Kriging simple (SK): Es la estacionaridad junto con el hecho de que se asume que la media de la función aleatoria es conocida [63].

Kriging Ordinario (OK): El kriging ordinario establece una condición adicional al sistema de ecuaciones del kriging simple para filtrar el valor desconocido de la media [63].

Kriging Universal (UK): El kriging universal presupone que hay una tendencia de invalidación en los datos, puede modelarse a través de la función determinística polinómica. Esta función polinómica se resta de los puntos medidos originalmente y la auto correlación se modela a partir de los errores aleatorios [64].

El método de kriging usado en el presente estudio es el kriging ordinario; es el más acorde para este estudio porque presupone que el valor medio constante es desconocido. Requisitos que no cumplen el kriging simple y universal. El simple supone el conocimiento de la variable media aleatoria, el universal podría aplicarse debido a que hay una tendencia en los datos pero este supone el conocimiento de la variable media aleatoria, a causa de esto, el margen de error podría ser mayor al Kriging Ordinario. A continuación se presenta la metodología de aplicación del método Kriging ordinario.

2.5.1. Método Kriging Ordinario.

Para determinar la correlación se usan semivariogramas y vecindades obtenidos a partir de un análisis exploratorio de los datos. El semivariograma permite a partir de la covarianza entre los puntos, representar la variabilidad de los mismos y su dependencia en función de la distancia y la dirección. La fórmula general es:

$$Z(X_0) = \sum_{\alpha=1}^n \omega_{\alpha} * Z(X_{\alpha})$$

En la ecuación se desea estimar un valor $Z(X_0)$ en X_0 , usando los valores de los datos $Z(X_{\alpha})$, de n puntos muestrales vecinos X_{α} y combinándolos linealmente con pesos ω_{α} .

Los pesos son elegidos de tal manera que el estimador sea:

- Insesgado: $E[Z(X_0) - Z(X_0)] = 0$
- Varianza mínima: $\text{Var}[Z(X_0) - Z(X_0)]$ sea un mínimo.

Suma general de los pesos:

$$E[Z(X_0) - Z(X_0)] = \sum_{\alpha=1}^n \omega_{\alpha} E[Z(X_{\alpha}) - Z(X_0)] = 0$$

De esta manera se espera que las esperanzas de los incrementos sea cero.

La varianza de la estimación Kriging ordinario es:

$$\sigma^2_{OK} = \mu_{OK} - \gamma(X_0 - X_0) + \sum_{\alpha=1}^n \omega_{\alpha} \gamma(X_{\alpha} - X_0)$$

Se espera una minimización de la varianza con la restricción sobre los pesos. El estimador kriging ordinario es un interpolador exacto en el sentido que si X_0 es idéntico con una locación de los datos entonces el valor estimado es idéntico con el valor del dato en ese punto.

$$Z(X_0) = Z(X_{\alpha}) \quad \text{si } X_0 = X_{\alpha}$$

La precisión del método depende de varios factores. El número de muestras y la calidad de los datos en cada punto. La posición de las muestras en el

depósito. La distancia entre las muestras y el punto a ser estimado. La continuidad espacial bajo consideración [65].

3. METODOLOGIA.

3.1. ADQUISICION DE LOS DATOS PLUVIOMETRICOS.

La primera etapa del proyecto se basó en la recolección de información de la cuenca del río Bogotá, datos de precipitación acumulada mensual (PAM) de las estaciones y datos de PAM del satélite TRMM. Los datos de la cuenca y las estaciones se adquieren mediante la CAR (corporación autónoma regional de Cundinamarca) y el IDEAM (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales). Los datos del satélite TRMM se obtuvieron a partir de la NASA (administración nacional de aeronáutica y del espacio), de acuerdo a la base de datos de dicha agencia.

3.1.1. Adquisición Datos precipitación satélite TRMM.

Como primer paso se ingresa a la página web del satélite, que tiene como nombre visualización TRMM online y sistema de análisis para productos mensuales, se identifica el producto TRMM 3B43 y se selecciona la variable Precipitación acumulada (mm). Luego el periodo de tiempo, introduciendo fecha de inicio y fecha de finalización, en este caso la fecha de inicio es enero de 1998, y la fecha de finalización diciembre del 2012. Se tomo hasta el año 2012 debido a que el registro histórico de precipitación de la CAR y el IDEAM no está actualizado y solo va hasta el año 2012. Cabe aclarar que el registro del satélite si contiene datos de precipitación a lo largo del presente año.

Posteriormente se visualiza y se proyecta una serie de gráficos e histogramas de acuerdo al intervalo de tiempo definido. Por último se selecciona todos los archivos HDF mostrados en la pantalla y se procede a descargarlos. Los archivos son imágenes raster en formato HDF y cada imagen contiene la información de un solo mes. Es decir se descargaron 180 imágenes raster con el fin de cubrir la totalidad de los meses respecto al tiempo predeterminado (1998-2012).

3.1.2. Adquisición datos de precipitación en las estaciones pluviométricas de la CAR y el IDEAM.

Las estaciones pluviométricas se escogieron en base a los siguientes aspectos: estaciones que se encuentren dentro de la delimitación de la cuenca, Estaciones con antiguas series históricas de precipitación y que cuenten con el periodo de tiempo fijado (1998-2012) en el presente estudio.

Se tuvo en cuenta en su mayoría las estaciones que son propiedad de la CAR puesto que la adquisición de los datos es gratuita, contrario a lo que sucede con las estaciones del IDEAM, que tienen un costo preestablecido según la cantidad de estaciones y periodo de tiempo. Debido a lo anterior solo se escogieron estaciones del IDEAM en zonas donde carecían estaciones de la CAR.

En total se tomaron 39 estaciones pluviométricas de la CAR y 4 estaciones pluviométricas del IDEAM.

3.2. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DEL SATELITE TRMM 3B43 Y LAS ESTACIONES.

Tanto para el procesamiento de los datos del satélite TRMM así como el procesamiento de los datos de las estaciones se utilizó como herramienta el software GvSig 2.1. Dicho procesamiento de datos requiere de transformaciones geo-espaciales para ser analizados únicamente en la zona de estudio (cuenca del río Bogotá).

3.2.1. Satélite TRMM 3B43.

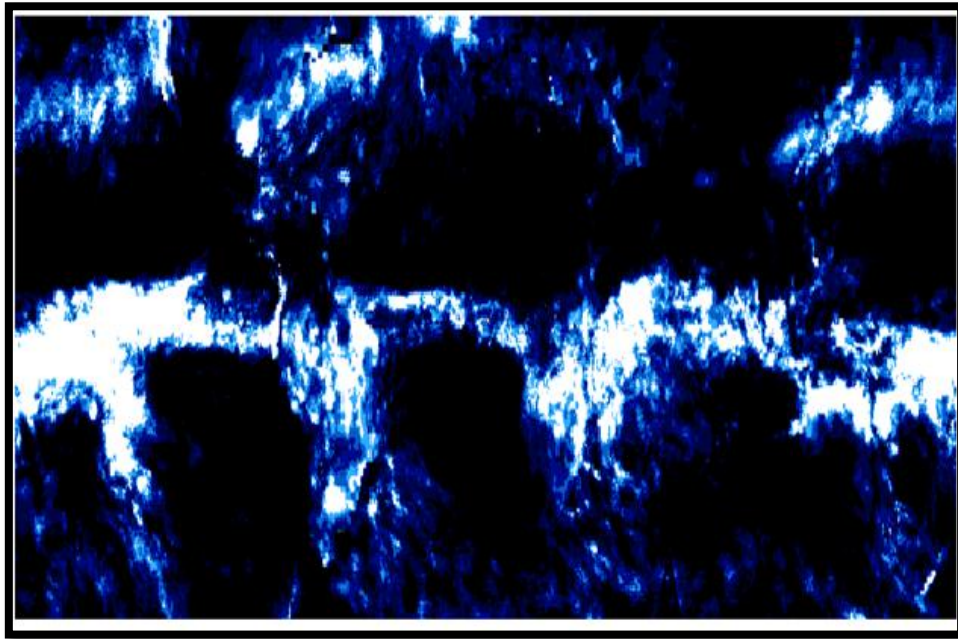
3.2.1.1. Visualización de las imágenes raster del satélite.

Para generar la visualización de las imágenes raster en formato HDF, adquiridas por el satélite, es necesario contar con un programa de información geográfica, debido a que cada imagen posee un tamaño de archivo alto.

Como se mencionó anteriormente en las características del producto, la cobertura geográfica que alcanza el satélite es de Latitud: 50 ° S - 50 ° N; Longitud: 180 ° W - 180 ° E. Abarcando toda la zona intertropical del mundo y excluyendo los extremos del norte y el sur del mundo. Es decir cada imagen contiene la información de la precipitación acumulada mensual en la mayor parte del mundo, sin embargo en dichas imágenes no se puede observar los valores de precipitación que contiene cada una. Debido a lo anterior es necesario someter las imágenes a una serie de geo-procesos para visualizar los valores.

A continuación se visualiza una de las 180 imágenes raster descargadas y proyectadas en el programa Gvsig 2.1. La imagen pertenece al año de 1998 del mes de enero.

Imagen 12. Imagen satelital de la precipitación acumulada (mm) para el mes de enero del año 1998.



Fuente: Datos suministrados por la NASA

3.2.1.2. Aplicación de geo-procesos a partir de la cuenca.

Para obtener información detallada de las imágenes satelitales proyectadas, se debe recurrir a una serie de geo-procesos que fueron estimados usando el software GvSig 2.1. Los geo-procesos permiten la transformación de las imágenes para poder extraer los datos del satélite TRMM.

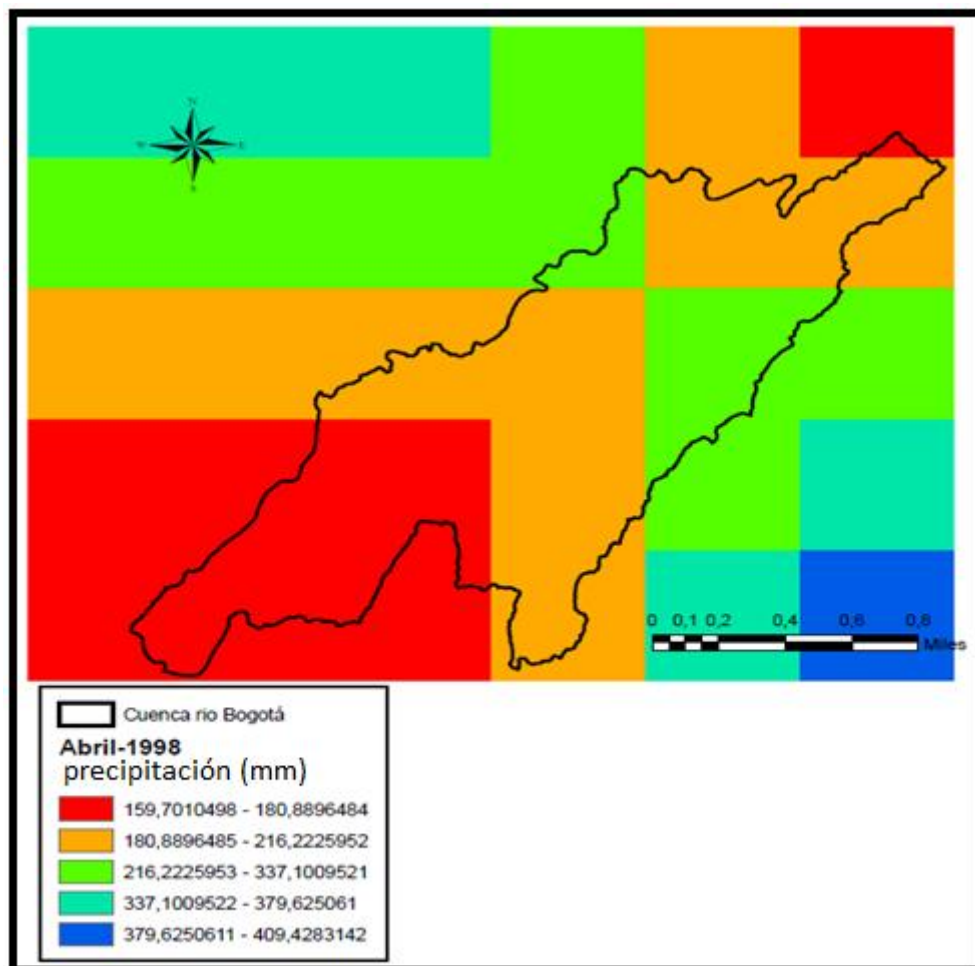
A continuación se da a conocer los geo-procesos efectuados para conseguir la transformación de las imágenes, con el fin de extraer dichos datos.

Recorte de imágenes raster.

La imagen satelital proyectada con anterioridad reúne gran cantidad de pixeles al igual que todas las imágenes descargadas, en consecuencia solo unos pocos pixeles de la imagen son tomados; el filtro de estos pixeles se hace a partir de la delimitación de la cuenca. Para ello se añade la capa de la cuenca del rio Bogotá y se utiliza la herramienta de recorte dada la aplicación geo-

procesos del programa GvSig. Por tanto se dejan los pixeles que cubren a lo largo y ancho la cuenca como se muestra a continuación.

Imagen 13. Recorte de la imagen satelital precipitación acumulada (mm) para el mes de abril de 1998 a partir de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

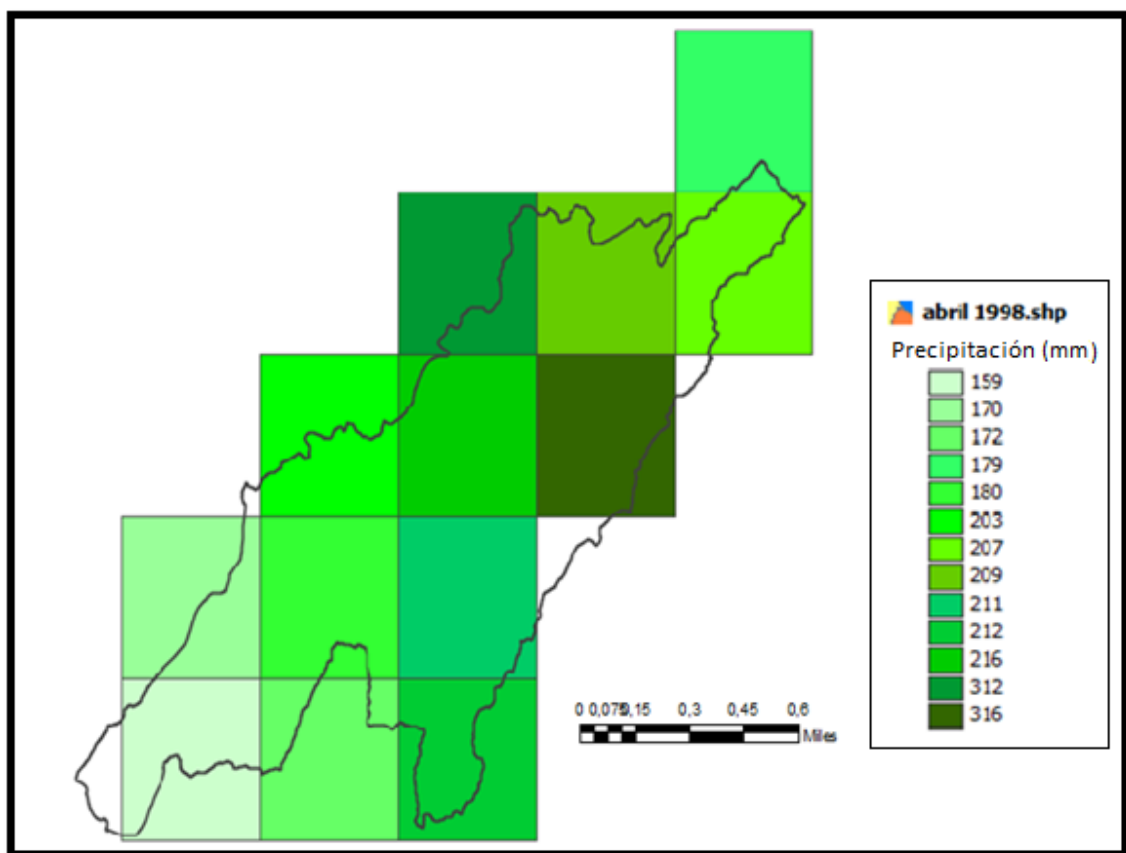
El procedimiento descrito con anterioridad es con el fin de obtener una mejor visualización y análisis de la cuenca respecto a la imagen satelital. Cabe resaltar que este proceso se repitió para las 179 imágenes satelitales restantes.

La figura 14 muestra la distribución de lluvia en la cuenca, clasificada por los pixeles que la conforman. La imagen pertenece al mes de abril del año 1998 y se puede apreciar que en la zona sur occidente de la cuenca al igual que la zona del extremo nororiente de la cuenca, se registra la precipitación más baja con una oscilación de lluvias desde 159.7 mm hasta 180.8 mm. Por el contrario la zona donde se registro una mayor precipitación fue en la parte media y parte nororiental de la cuenca.

Conversión de imagen raster a imagen vectorial:

Con la imagen raster podemos apreciar los valores de la cuenca pero Es importante aplicar la conversión a imagen vectorial debido a que dicha imagen es más dúctil para extraer los datos de precipitación acumulada en el mes por cada pixel. Además esta transformación permite apreciar el resultado exacto del pixel y a la vez descartar los pixeles que no cubren el límite geográfico de la cuenca.

Imagen 14. Transformación de imagen raster a imagen vectorial.



Fuente: elaboración propia.

En el presente mapa se observa el resultado de la imagen vectorial. La precipitación es la misma observada en imagen 13, la diferencia radica en que se muestra con mayor precisión el valor de cada pixel y la exclusión de pixeles que no delimitan la cuenca.

Se descarto los pixeles que alcanzaban a delimitar los espacios en blanco encontrados dentro de la cuenca, razón por la cual no se encontraron estaciones pluviométricas, de esta forma no se podía corroborar la información en estos lugares.

3.2.1.3. Extracción y organización de datos pluviométricos.

En primer lugar se extrajeron los datos de precipitación a partir de las tablas de atributos de las distintas imágenes vectoriales. Las tablas de atributos están conformadas de la siguiente manera:

Tabla 8. Atributos por cada imagen vectorial.

abr-98	
ID	Precipitación (mm)
6	179,5504
10	312,15735
11	209,36075
12	207,30894
15	203,52086
16	216,2226
17	316,61966
20	170,70145
21	180,88965
22	211,59814
26	159,70105
27	172,58673
28	212,13629

Fuente: Elaboración propia

Como ejemplo se muestra la tabla del mes de abril de 1998. A la izquierda se puede ver la numeración del pixel y a la derecha la precipitación acumulada. Todas las imágenes contienen la misma numeración del pixel pero diferente precipitación.

A continuación se procedió a la organización de datos. Primero se tomo cada una de las tablas de atributos y se organizaron en Excel por pixel. Es decir se extrajeron todas las precipitaciones acumuladas por mes desde el año 1998 hasta el año 2012. En pocas palabras se tomo la misma base de organización de los registros históricos de las estaciones pluviométricas de la CAR y el IDEAM.

Tabla 9. Organización de los datos de precipitación acumulada (mm) para cada mes según el año.

	PIXEL 6											
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviem.	Diciembre
1998	21,9106	52,7953	116,18744	179,5504	231,26041	145,15579	171,10818	119,98876	123,58752	160,10689	135,07632	113,08556
1999	85,175	147,12794	110,10405	160,32709	105,8257	151,89902	85,48374	91,83649	165,52869	180,35048	103,73915	108,76897
2000	44,68369	95,74376	130,65036	130,32547	170,97418	140,14929	134,6662	115,39146	164,60597	157,4409	108,92923	58,01039
2001	27,42619	44,74077	120,48735	75,31881	145,71959	109,68188	87,34315	76,38316	155,41637	123,76197	121,11317	95,64194
2002	16,81179	52,26311	141,89398	191,20363	179,39386	132,04057	95,59072	108,86131	104,12679	109,49417	94,52813	67,90582
2003	10,56743	52,08638	98,59641	158,54337	137,56842	129,98788	92,25538	122,32592	113,93992	171,77748	176,93839	71,47363
2004	27,95706	44,22635	83,58646	201,55597	248,76633	118,38989	121,07715	93,86612	118,55211	183,46147	144,41759	144,41759
2005	55,67493	72,86731	67,28781	148,79329	177,12845	96,89835	85,90986	103,50905	115,62428	194,7101	144,73639	70,10451
2006	106,5604	49,25643	161,0347	235,2285	166,17764	178,22362	95,84908	77,67017	89,33562	177,40373	182,18263	105,16177
2007	34,11901	33,21671	129,14415	169,62732	154,25081	114,39241	79,63426	134,93704	78,64352	227,03793	132,295	128,57976
2008	71,08686	62,5423	105,07583	146,02919	215,83484	151,67705	130,90695	135,54362	103,52904	166,40129	218,65256	68,90966
2009	76,06178	57,62493	124,7699	105,7164	87,60101	103,42394	76,85379	63,2752	35,69461	157,81573	61,72285	34,72449
2010	4,28263	32,94165	60,38062	176,96565	196,00415	140,59633	194,55243	104,11705	91,43681	194,19638	180,96808	151,14803
2011	47,49372	98,14206	121,60416	228,6243	228,6243	104,71822	142,92455	77,5428	105,15022	151,39276	233,51115	110,23769
2012	88,91961	44,65867	75,29989	219,29768	66,26511	55,41785	89,44109	45,32587	23,9333	130,11938	66,16341	67,53166

Fuente: elaboración propia, datos suministrados por el satélite TRMM 3B43.

En la tabla 9 se puede observar la organización de los datos tomando como referencia la organización de las series históricas de datos de las estaciones de la CAR y el IDEAM, el registro se conoce como precipitación acumulada mensual.

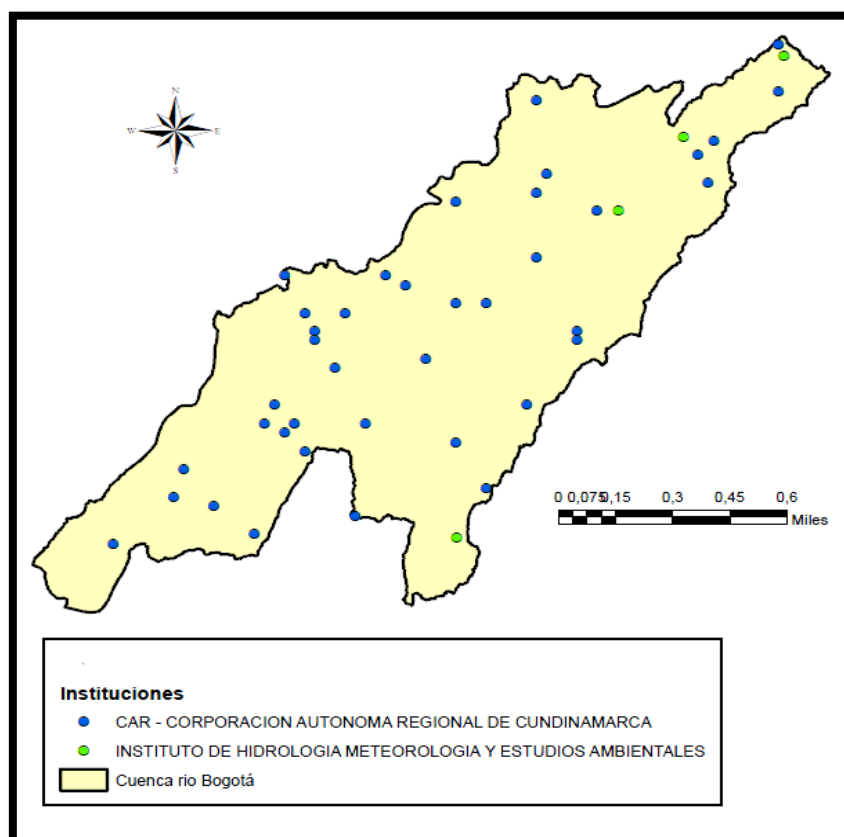
3.2.2. Estaciones pluviométricas de la cuenca.

3.2.2.1. Adquisición de las estaciones y proyección.

Primero se tomo la base de datos del IDEAM, base de datos que se descargo en la página web de dicha entidad. Segundo se realiza un filtro según los atributos departamento, subcuenca y tipo de estación.

Luego se procede a la proyección de las estaciones en el mapa de la cuenca del rio Bogotá. Pero antes se genera una conversión de coordenadas mediante el software magna sirgas para poder visualizar la ubicación de las estaciones en el programa GvSig 2.1. Se proyectan en el programa GvSig e Inmediatamente se generan los puntos en el mapa. Dichos puntos son las estaciones distribuidas espacialmente en la cuenca según su ubicación. Por último se comprueba que cada estación se encuentre dentro del perímetro de la cuenca y se eliminan las que no se encuentren dentro de este.

Imagen 15. Mapa de estaciones pluviométricas



Fuente: Elaboración propia

En la presente imagen se aprecia la distribución espacial de las 43 estaciones pluviométricas resultantes en la cuenca. Las estaciones están clasificadas en

el mapa de acuerdo a la corporación que pertenecen. Siendo de color verde propiedad del IDEAM y color negro propiedad de la CAR; predominando en cantidad las estaciones de la CAR con 39 estaciones. Finalmente se procede adquirir los registros históricos de precipitación acumulada mensual para cada una de las estaciones.

3.3. ESTIMACION DE DATOS FALTANTES.

La mayoría de las estaciones escogidas en el presente estudio presentaron vacíos de información en los registros históricos. Es importante llenar estos vacíos para no generar un incremento en el margen de error cuando se efectúa la correlación con los datos pluviométricos del satélite. Cabe aclarar que los registros históricos pluviométricos del satélite no presentan datos faltantes.

Se emplearon dos métodos estadísticos para completar los datos faltantes de las distintas series históricas. Los métodos usados fueron regresión lineal y regresión lineal múltiple. Este último se aplicó cuando no se podía determinar datos faltantes por regresión lineal.

3.3.1. Método de Regresión Lineal.

El presente método se aplicó con la condición de que el coeficiente de determinación (R^2) estimado entre la estación que posee datos faltantes y la estación más cercana que contiene datos completos sea mayor a 0.7. En este caso se tomó como variable independiente la estación que carece de datos y la variable dependiente la estación que cuenta con los datos completos.

Tabla 10. Esquema para la aplicación del método.

y	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
x	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12

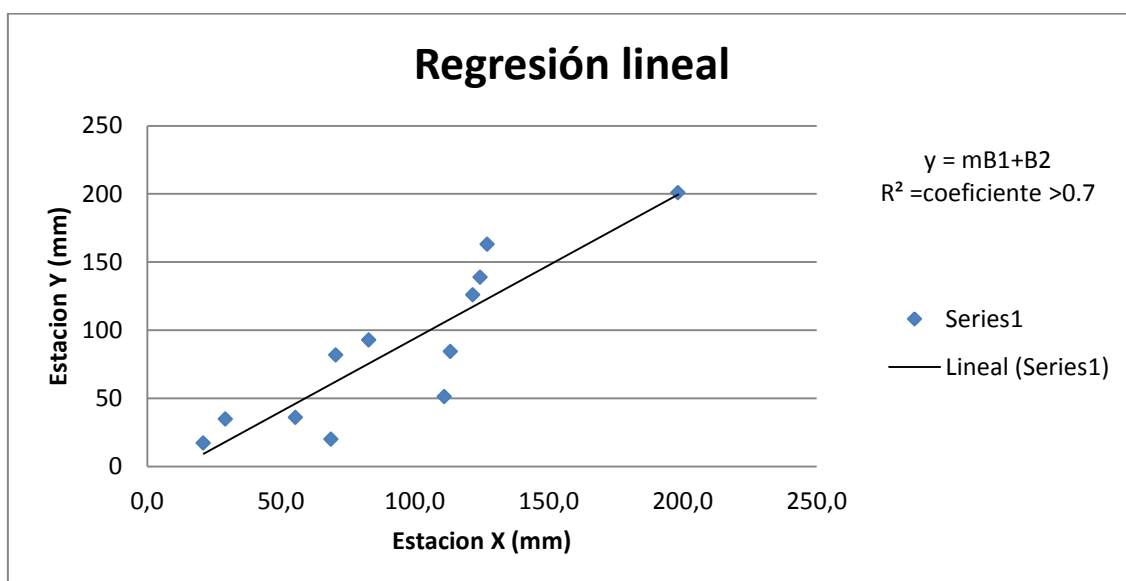
Fuente: elaboración propia

 Datos faltantes

Y= variable independiente

X= variable dependiente

Ilustración 16. Método Regresión lineal



Fuente: Elaboración propia

Según como se muestra en la ilustración 16, a través de la elaboración de la línea de tendencia, automáticamente el programa Excel arroja el coeficiente de determinación que debe ser mayor a 0.7. Y la ecuación lineal ($y=mB1+B2$) para el ajuste de datos. Ya estimada la ecuación se aplica en los datos faltantes de la tabla 9.

3.3.2. Método de Regresión múltiple.

Para realizar este método se tuvo en cuenta las estaciones más cercanas, se realizó con dos estaciones con información completa y se agregó un nuevo escenario en el cual se tuvo en cuenta la ubicación de la estación y la similitud en el comportamiento de la precipitación de las estaciones próximas.

Tabla 11. Método regresión múltiple.

Estación D.F	Estación 1	Estación 2
y1	x1	x1
y2	x2	x2
y3	x3	x3
y4	x4	x4
y5	x5	x5
y6	x6	x6
y7	x7	x7
y8	x8	x8
y9	x9	x9
y10	x10	x10
y11	x11	x11

y ₁₂	x ₁₂	x ₁₂
-----------------	-----------------	-----------------

Fuente: elaboración propia

La tabla 11 es el esquema general para la aplicación del método regresión múltiple para las estaciones que carecen de datos. La tabla está conformada por tres atributos: variable independiente (estación D.F) y dos variables dependientes (estación 1 y estación 2).

3.4. CALCULO DE LA VARIABLE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (PMM).

El cálculo de esta variable se define como el promedio aritmético mensual multianual. El cálculo se realizó de igual manera para las estaciones pluviométricas como los datos del satélite TRMM. La fórmula para hallar la PMM es la siguiente:

$$PMM = \frac{\sum_{i=1}^{15} PAM}{n}$$

Siendo

PMM= Precipitación media mensual.

PAM=precipitación acumulada mensual

n= Periodo de años (15)

3.5. CALCULO COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.

Mediante el cálculo del coeficiente de correlación se puede observar y analizar el comportamiento de una variable “x” respecto una variable “y”, en este caso se comprueba la veracidad de los datos del satélite TRMM respecto al comportamiento de los datos de las estaciones, Siendo la PMM, variable de estudio Para las estaciones y el satélite TRMM.

Para el cálculo del coeficiente de correlación se emplea la siguiente formula.

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y}$$

Siendo r coeficiente de correlación, σ_{xy} la covarianza, σ_x y σ_y las desviaciones típicas.

Calculo de la desviación típica σy

$$\sigma y = \sqrt{\frac{\sum yi^2}{n} - \hat{y}l^2}$$

Siendo “ y_i ” precipitación media mensual en el pixel satélite TRMM, “ n ” periodo de años y “ $\hat{y}l$ ” promedio general precipitación media mensual en el pixel del satélite TRMM.

Calculo de la desviación típica σx

$$\sigma x = \sqrt{\frac{\sum xi^2}{n} - \hat{x}l^2}$$

“ x_i ” Precipitación media mensual en la estación, “ n ” periodo de años y $\hat{x}l$ promedio general precipitación media mensual de la estación.

Calculo de la covarianza

$$\sigma xy = \sum \frac{xi * yi}{n} - \hat{x}l * \hat{y}l$$

Siendo “ y_i ” precipitación media mensual en el pixel del satélite TRMM, “ x_i ” Precipitación media mensual en la estación, “ n ” periodo de años, “ $\hat{x}l$ ” promedio general precipitación media mensual de la estación y “ $\hat{y}l$ ” promedio general precipitación media mensual en el pixel del satélite TRMM.

3.6. CALCULO ERROR ABSOLUTO MEDIO (EAM).

Este método permite conocer la diferencia de lluvia promedio que hay entre los datos del satélite TRMM y las estaciones pluviométricas.

Calculo error absoluto medio:

$$EAM = \frac{\sum |Xi - Yi|}{n}$$

Siendo “ X_i ” precipitación media mensual de la estación, “ Y_i ” precipitación media mensual en el pixel del satélite TRMM y “ n ” periodo de años.

3.7. METODO INTERPOLACION KRIGING.

El método de interpolación kriging se realizó a partir del parámetro estadístico error absoluto medio mediante el software ArcGis 10.1 como herramienta para la elaboración del modelo de kriging. El software resuelve de manera automática las ecuaciones determinadas para Kriging en el marco teórico del presente estudio.

Para comenzar se adiciona los valores de error absoluto medio a la tabla de atributos (ver tabla en anexo1), ya calculados según la relación estación-píxel. De esta manera se obtiene la distribución espacial de dichos parámetros en la cuenca del río Bogotá dada la ubicación geográfica de las estaciones.

Se toma como herramienta el Kriging ordinario y el tipo de salida de predicción, generando como resultado valores de coeficiente de correlación y error medio absoluto en zonas de la cuenca que no contaban con información alguna.

De esta manera se generan mapas de interpolación kriging delimitados por la cuenca. Ya obtenidos los modelos kriging se realiza un análisis Geoestadístico de acuerdo a los parámetros mencionados tomando como referencia la PMM y las características físicas de la cuenca. Adquiriendo un mayor panorama para la interpretación de los datos del satélite y los datos de las estaciones pluviométricas.

4. ANALISIS Y RESULTADOS.

4.1. ANALISIS ESTIMACIÓN DATOS FALTANTES.

4.1.1. Regresión Lineal.

Tabla 12. Aplicación método regresión lineal.

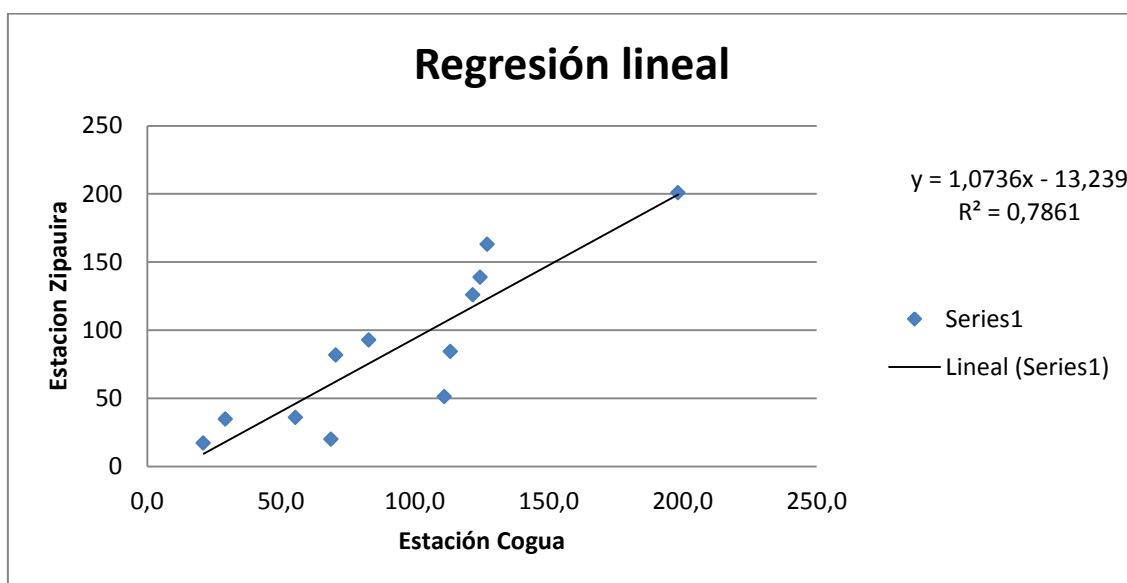
y	29,2	21	121,6	55,4	124,4	113,3	82,8	111	68,7	127	198,3	70,5
x	34,8	17,1	126	35,9	138,8	84,3	92,9	51,3	19,9	163,2	201	81,8

Fuente: Elaboración propia.

 Datos faltantes

Los datos mostrados en la tabla 12 pertenecen a la estación Zipaquirá (y) y la estación Cogua (x). Dichas estaciones se ubican al norte de la cuenca y se caracterizan por su cercanía.

Ilustración 17. Estimación ecuación y coeficiente de determinación.



Fuente: elaboración propia.

En la anterior ilustración se puede apreciar que el coeficiente de determinación es mayor a 0.7, la ecuación de ajuste, esta última es aplicada para la tabla 10 en los datos faltantes.

4.1.2. Regresión Múltiple.

Tabla 13. Aplicación del método.

Y	X1	X2
195,6	194,1	49,0
42,0	140,5	60,3
208,4	255,8	206,7
64,7	125,8	68,2
43,4	51,7	120,6
56,2	0,0	107,0
0,9	73,0	14,2
32,3	116,9	3,4
0,0	40,2	94,5
74,1	48,4	164,1
117,6	46,2	195,2
91,6	87,8	62,2

Fuente: elaboración propia.

La variable independiente (Y) es la estación La victoria y las variables dependientes (X1 y X2) las estaciones ESC Samper y Col José Caldas.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,8546
Coeficiente de determinación R ²	0,7304
R ² ajustado	0,6705
<i>Coeficientes</i>	
Intercepción	-56,19
Variable X 1	0,7572
Variable X 2	0,5015

La aplicación de este método se hizo a partir de la estación que carece de datos faltantes y las estaciones con datos completos, el esquema se elaboro tal cual como se muestra en la tabla 12. Luego se aplico las estadísticas de regresión dadas por el programa Excel, de esta forma se obtuvo los coeficientes para la intercepción, Variablex1 y Variablex2

Para completar los datos faltantes en la tabla 12(color amarillo), se utilizo la siguiente formula.

$$Y = \text{Intercepción} + X1 * \text{variableX1} + X2 * \text{variableX2}$$

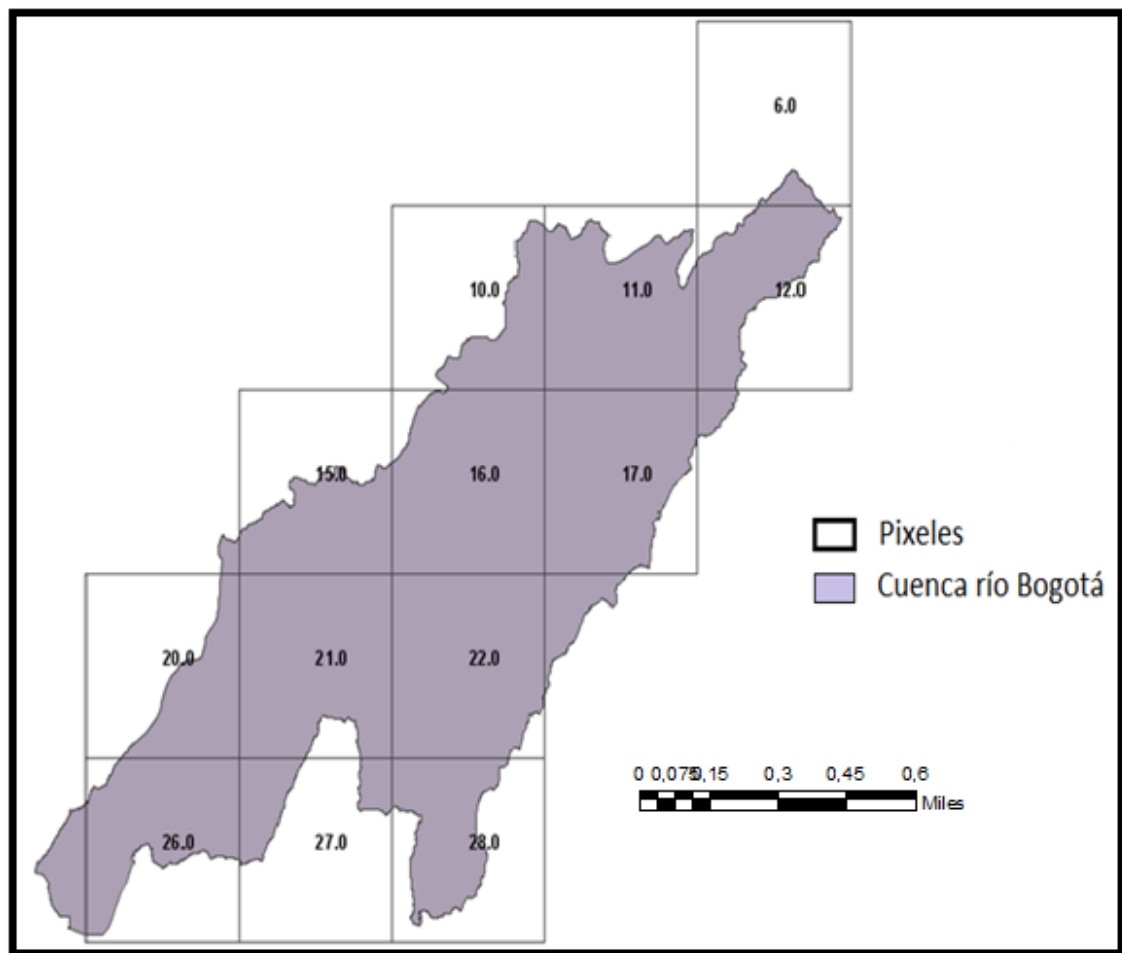
4.2. ANALISIS DE LA VARIABLE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

El cálculo de la variable PMM se determino para las bases de datos del satélite TRMM y las estaciones pluviométricas según el periodo de años 1998-2012. Como se manifestó anteriormente el procedimiento para hallar la PMM fue el mismo para ambos. Sin embargo los registros históricos del satélite TRMM se organizaron en base a los pixeles.

4.2.1. Comportamiento de la PMM de la cuenca según el satélite TRMM.

La precipitación acumulada mensual registrada por el satélite TRMM 3B43 se cuantifica en base al área del pixel. De acuerdo a lo anterior la estructura y organización se empleo por la numeración de cada pixel, generando un registro histórico por cada pixel que delimita la cuenca.

Imagen 18. Mapa de pixeles según la cuenca.



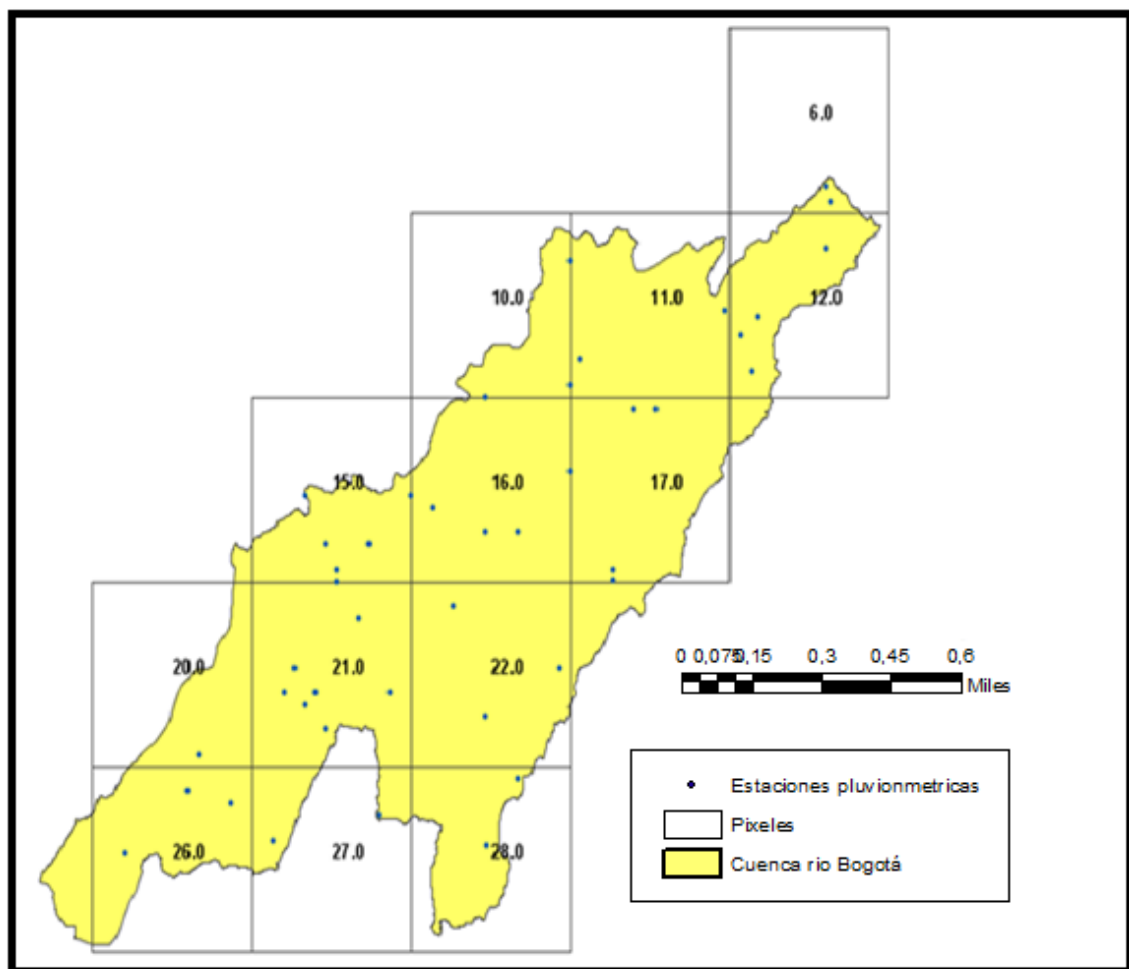
Fuente: Elaboración Propia

En la imagen anterior se aprecia la numeración correspondiente para cada pixel, pixeles que contienen los registros históricos de PAM para cada zona de la cuenca.

4.3. ANALISIS ESTADISTICO DE LA CORROBORACIÓN DE LOS DATOS ENTRE EL SATELITE TRMM Y LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.

El análisis estadístico se elaboro a partir de dos índices estadísticos que son coeficiente de correlación y error absoluto medio. La determinación de ambos se realizo según la relación estación-píxel, es decir se corrobora el valor del píxel con cada estación que se encuentra dentro del mismo píxel.

Imagen 19. Distribución de las estaciones pluviométricas en la cuenca según cada píxel.



Fuente: Elaboración propia

En el presente mapa se puede observar la distribución y localización de las estaciones en la cuenca respecto a cada píxel. Ubicándose hasta 6 estaciones pluviométricas por píxel así como 1 sola estación por píxel, como es el caso de la estación ESC Samper en el píxel 20.

4.3.1. Determinación de los coeficientes de correlación.

Mediante el coeficiente correlación de Pearson se corrobora la veracidad del pixel con cada estación, como se muestra a continuación.

Tabla 14. Determinación coeficiente de coeficiente correlación

CODIGO	ESTACION PLUVIOMETRICA	Pixel	C. correlación
2120164	VILLAPINZON GJA [21201640]	6	0,98010
2120632	FORTUNA LA [21206320]		0,96508
2120074	ZIPAQUIRA [21200740]	10	0,93819
2120088	SALITRE EL - NEUSA [21200880]		0,85482
2120165	STA ROSITA [21201650]	11	0,91538
2120658	COGUA [21206580]		0,91105
2120659	REPRESA SISGA [21206590]	12	0,86016
2120027	SAUCIO [21200270]		0,81581
2120043	VILLAPINZON [21200430]		0,96524
2120548	IBERIA LA [21205480]		0,85540
2120652	PALOQUEMAO [21206520]	15	0,95432
2120055	UNION LA-EL ROSAL [21200550]		0,95829
2120069	TESORO-VERTIENTES [21200690]		0,87607
2120173	CAMPOBELLO [21201730]		0,90933
2120174	MANJUI [21201740]		0,94626
2120629	VENECIA [21206290]		0,97412
2120159	ALCO [21201590]	16	0,92227
2120557	PRIMAVERA LA [21205570]		0,95113
2120559	APTO GUAYMARAL [21205590]		0,88330
2120044	PRADERA LA [21200440]		0,92000
2120136	STA INES [21201360]		0,92182
2120105	LOURDES [21201050]	17	0,82134
2120565	TABIO [21205650]		0,70456
2120080	SAN JOSE [21200800]		0,92851
2120103	STA TERESA		0,95267
2120649	ESC SAMPER MADRID [21206410]	20	0,91699
2120646	MESITAS [21206460]	21	0,94835
2120166	FUTE [21201660]		0,92676
2120177	ANCLAJE 14 [21201770]		0,95843
2120182	PENAS BLANCAS [21201820]		0,91116
2120183	DARIO VALENCIA [21201830]		0,91956
2120639	MESA LA [21206390]		0,90330

2120647	ESPERANZA LA [21206470]		0,92663
2120516	RAMADA LA [21205160]	22	0,97313
2120659	CASITA LA [21201120]		0,63966
2120156	PICOTA LA [21201560]		0,88471
2120640	VICTORIA LA [21206400]	26	0,95680
2120190	COL JOSE DE CALDAS [21201900]		0,94140
2120637	VIOLETA LA [21206370]		0,87122
2120060	GUARANI EL PENON [21200600]	27	0,94000
2120184	LAG DEL INDIO [21201840]		0,88710
2120130	AUSTRALIA [21201300]	28	0,71840
2120085	BOSQUE EL		0,90790

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se puede observar el número de estaciones localizadas en cada pixel, con el correspondiente coeficiente de correlación, cada coeficiente se calculo siguiendo el método de Pearson. Por otra parte se puede apreciar una tendencia predominante en los coeficientes calculados, dicha tendencia la marcan los datos mayores a 0.9. En concordancia con lo anterior se puede deducir que los datos de precipitación del satélite TRMM 3B43 para la cuenca del rio Bogotá se ajustan perfectamente a los datos pluviométricos de las estaciones.

El coeficiente más alto se registro en la estación Villapinzon GJA con 0.98 dado el pixel 6, por otro lado el más bajo se registro en la estación Casita la con 0,64. A pesar de que este ultimo tuvo un índice de correlación bueno se considera para este estudio un dato atípico ya que fue el único valor que no supero el umbral de 0.7. Esto se debe a que se presentan lluvias aisladas, como consecuencia el pluviómetro solo registra la precipitación en un solo punto, contrario a lo que sucede con el satélite que mediante el pixel abarca un área superficial mayor a la del pluviómetro.

Por otro lado se pudo apreciar que los coeficientes de correlación más altos no dependían de la cantidad de lluvia estimada para cada estación. Es decir la estación que registraba valores bajos de PMM podía contar con coeficientes altos así como también las estaciones que registraban grandes cantidades de lluvia, sin embargo si se presentan lluvias aisladas se puede afectar este índice.

4.3.2. Determinación de los valores de error absoluto MEDIO (EAM).

Los valores de EAM permitieron conocer la fluctuación de los datos generados por el satélite TRMM 3B43 y cada una de las estaciones pluviométricas.

Tabla 15. Determinación error absoluto medio.

CODIGO	ESTACION PLUVIOMETRICA	Pixel	error absoluto medio (mm)
2120164	VILLAPINZON GJA [21201640]	6	48,9798
2120632	FORTUNA LA [21206320]		82,3881
2120074	ZIPAQUIRA [21200740]	10	103,8274
2120088	SALITRE EL - NEUSA [21200880]		110,4354
2120165	STA ROSITA [21201650]	11	62,4833
2120658	COGUA [21206580]		44,6779
2120659	REPRESA SISGA [21206590]	12	45,5969
2120027	SAUCIO [21200270]		65,4223
2120043	VILLAPINZON [21200430]		71,1945
2120548	IBERIA LA [21205480]		61,3029
2120652	PALOQUEMAO [21206520]	15	32,6180
2120055	UNION LA-EL ROSAL [21200550]		44,7501
2120069	TESORO-VERTIENTES [21200690]		41,7717
2120173	CAMPOBELLO [21201730]		73,3456
2120174	MANJUI [21201740]		56,4042
2120629	VENECIA [21206290]		60,7984
2120159	ALCO [21201590]	16	84,4545
2120557	PRIMAVERA LA [21205570]		63,8260
2120559	APTO GUAYMARAL [21205590]		62,2876
2120044	PRADERA LA [21200440]		65,0921
2120136	STA INES [21201360]		67,1464
2120105	LOURDES [21201050]	17	102,6338
2120565	TABIO [21205650]		137,7833
2120080	SAN JOSE [21200800]		111,0222
2120103	STA TERESA		109,0500
2120649	ESC SAMPER MADRID [21206410]	20	32,1457
2120646	MESITAS [21206460]	21	16,8888
2120166	FUTE [21201660]		69,2138
2120177	ANCLAJE 14 [21201770]		17,8043
2120182	PENAS BLANCAS [21201820]		20,3168
2120183	DARIO VALENCIA [21201830]		19,4642
2120639	MESA LA [21206390]		21,9795

2120647	ESPERANZA LA [21206470]		17,6980
2120516	RAMADA LA [21205160]	22	65,4780
2120659	CASITA LA [21201120]		45,8192
2120156	PICOTA LA [21201560]		80,7916
2120640	VICTORIA LA [21206400]	26	19,6404
2120190	COL JOSE DE CALDAS [21201900]		12,2848
2120637	VIOLETA LA [21206370]		27,9796
2120060	GUARANI EL PENON [21200600]	27	30,7674
2120184	LAG DEL INDIO [21201840]		40,4206
2120130	AUSTRALIA [21201300]	28	35,7989
2120085	BOSQUE EL		47,5281

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior el error absoluto medio para muchas estaciones es considerablemente alto. Resultado que era de esperarse en este estudio porque los pixeles generados por el satélite TRMM albergan una mayor área de medición y cuantificación de la precipitación dada la resolución espacial de este. Mientras las estaciones se limitan a la lluvia que cae en los instrumentos como el pluviógrafo o el pluviómetro.

La fluctuación de lluvia más alta se registro en la estación de Tabio con 137.78 mm de diferencia entre el pixel y dicha estación. Mientras la estación que obtuvo la fluctuación más baja registro 12.28mm. Las fluctuaciones altas se pueden considerar resultados negativos pero si tenemos en cuenta el área superficial del pixel TRMM en relación a un instrumento como el pluviómetro, es factible que se dé una amplia diferencia debido al área superficial de ambos. Sin embargo se puede considerar una mayor precisión si los valores de error absoluto medio son bajos.

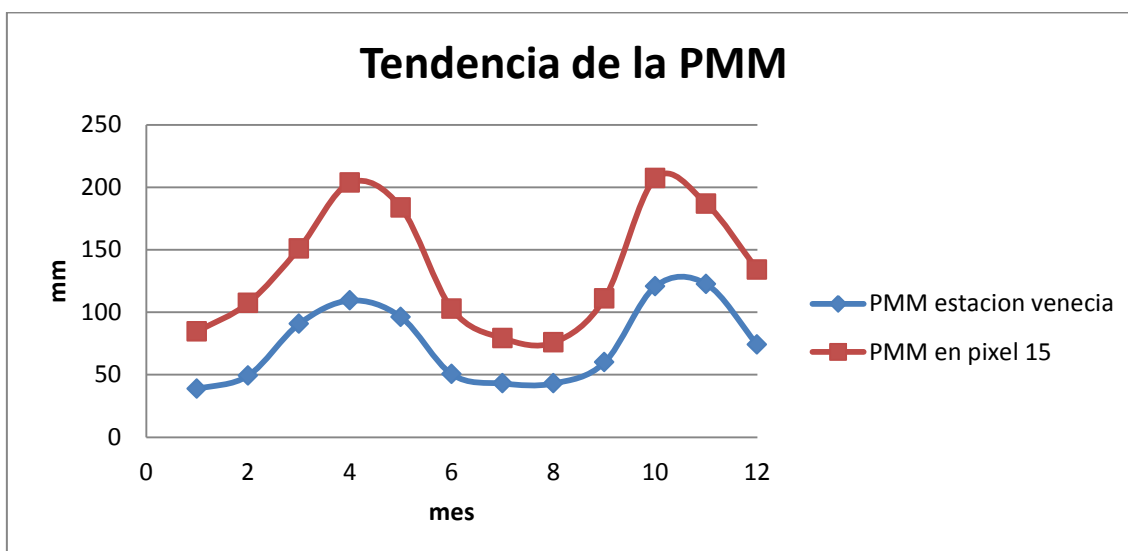
Se pudo apreciar que los resultados de las fluctuaciones de lluvia más altas se generan en las estaciones que están ubicadas en los extremos de varios pixeles, cabe aclarar que hubo estaciones cercanas al centro del pixel que también poseían fluctuaciones altas pero la tendencia se vio marcada en las estaciones situadas al extremo de las líneas divisoras del pixel.

4.3.3. ANALISIS ENTRE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION Y LOS VALORES DE ERROR ABSOLUTO MEDIO.

A primera vista parece que los índices estadísticos calculados no poseen relación alguna ya que los coeficientes de correlación favorece ampliamente la precisión de los datos del satélite TRMM, mientras los valores de error absoluto

medio arrojan datos de fluctuación considerablemente grandes en muchos casos. Sin embargo la razón por la que se presenta esta situación viene dada a partir del coeficiente de correlación que no depende de la cantidad de lluvia que cae en una determinada zona, en cambio el error absoluto medio depende de la cantidad de lluvia que cae en una zona dada.

Ilustración 20. Tendencia de precipitación media mensual según la fluctuación de precipitación para la estación Venecia y el Pixel 15 del satélite TRMM.



Fuente: elaboración propia.

En la ilustración anterior se puede apreciar lo dicho anteriormente. El coeficiente de correlación determinado para cada estación mostro una tendencia ecuánime entre los datos del satélite y los datos de las estaciones; causando el mismo comportamiento de la variable PMM. El error absoluto medio mostro una tendencia marcada en los datos, pero las fluctuaciones entre la PMM del satélite y las estaciones es considerablemente alta. Entre tanto se puede observar en la ilustración que la diferencia entre la PMM de la estación Venecia con respecto al Pixel mantiene casi siempre una diferencia de lluvia aproximada de 50 mm en la mayoría de los meses.

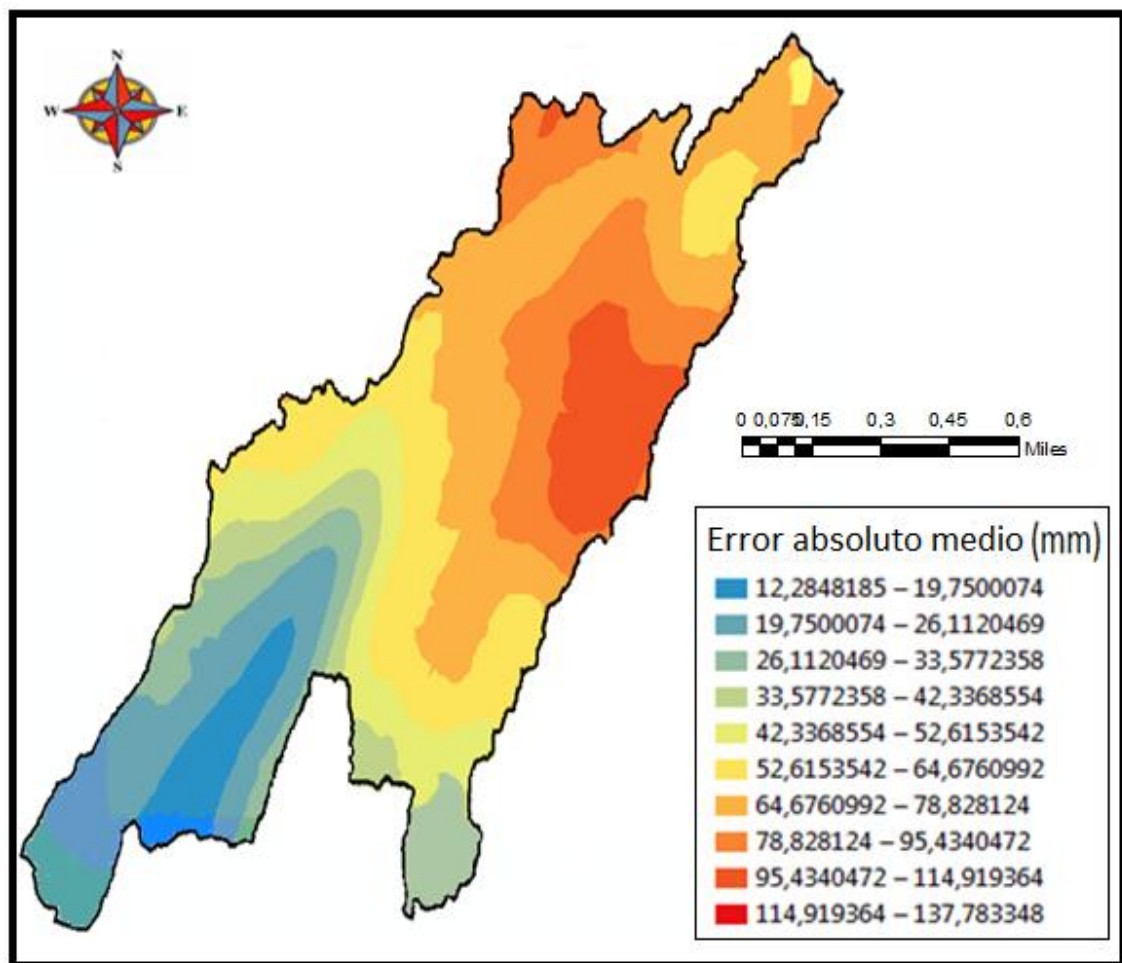
4.4. ANALISIS GEO-ESTADÍSTICO MEDIANTE INTERPOLACIÓN KRIGING.

Con base al parámetro estadístico error absoluto medio determinado anteriormente, se utilizo el método de interpolación kriging, para predecir el comportamiento del EAM en toda la cuenca. Se empleo como herramienta el programa de sistema de información geográfica ArcGis 10.1 para la elaboración del mapa.

4.4.1. Valores Error absoluto medio.

Se empleo el método de kriging ordinario para predecir el comportamiento de los valores de error absoluto medio en toda la cuenca. Dicho método permite tener un panorama más amplio en el análisis de la fluctuación para la variable precipitación media mensual dada la relación estación-píxel.

Imagen 21. Mapa de comportamiento de los valores de error absoluto medio según el método de interpolación kriging.



Fuente: Elaboración propia

En el mapa se puede observar hacia el oriente medio de la cuenca núcleos alargados con gradientes de precipitación altos, dicha zona contiene los valores más altos respecto a la fluctuación de lluvia de acuerdo a la relación estación-píxel con valores que llegan a los 137.78mm, En la zona norte también se puede observar una considerable fluctuación de los datos pero en menor medida respecto a la zona ubicada al oriente medio de la cuenca.

En la zona oeste medio y sur oriente se aprecia una menor fluctuación de los datos respecto al norte y al oriente medio de la cuenca. Sin embargo el gradiente de precipitación en dicha zona presenta fluctuaciones de lluvia a considerar, con datos que oscilan desde los 42.3mm hasta 64.6mm.

4.4.2. Análisis en la cuenca río Bogotá respecto a los coeficientes de correlación y valores de error absoluto medio.

Teniendo en cuenta la ubicación de las estaciones y los pixeles en la cuenca, Los valores de coeficiente de correlación generan una tendencia inclinada hacia el oriente de la cuenca, por lo general en este sector se aprecian los coeficientes más altos. Mientras que los valores de error absoluto medio se registra una ligera fluctuación de los datos en la zona ubicada hacia el oriente medio y sur oriente de la cuenca. Pero al norte y al oeste medio de la cuenca la fluctuación de los datos es alta.

Por otra parte en el mapa de error absoluto medio la fluctuación de la PMM es más notoria cuando el área del pixel alberga pocas estaciones y más aun si dichas estaciones están situadas en los extremos de las líneas divisoras del pixel que las alberga. Ocurre para las estaciones de villapinzon GJA y la fortuna que comprenden una pequeña región del área del pixel. Sucede lo mismo en las estaciones de Lourdes Tabio, San jose, Zipaquira y salitre

Para los valores de coeficiente de correlación la situación es muy diferente, ya que independientemente de la cantidad de estaciones y la región que ocupan dentro del pixel la tendencia de la variable PMM es casi la misma a la registrada por el satélite TRMM. Lo anterior es respaldado por el 70% de los coeficientes de correlación que están por encima de 0.9, el otro porcentaje restante cuenta con coeficientes altos estando por encima de 0.7, exceptuando una estación.

5. CONCLUSIONES

Los datos de precipitación media mensual del satélite TRMM para la cuenca del río Bogotá tienen aproximadamente la misma tendencia de los datos de precipitación media mensual registrada en las estaciones pluviométricas según el parámetro estadístico coeficiente de correlación. No hubo necesidad en el presente estudio de realizar un ajuste de los datos como se ha hecho en muchos estudios a nivel mundial para el satélite TRMM que arrojaron coeficientes menores a los obtenidos en el presente estudio.

La validación de los datos determinados según la relación Estación- pixel arrojaron excelentes resultados de correlación dado a que los datos del satélite ofrecen aproximadamente la misma tendencia en comparación a los datos de las estaciones. Predominando coeficientes de correlación mayores a 0.9 en la mayoría de los datos corroborados.

El índice estadístico Error absoluto medio determinado según la relación estación-píxel arrojó una amplia fluctuación de los datos de PMM del satélite en comparación a los datos de PMM de las estaciones. En un principio se puede considerar negativa dicha fluctuación pero resulta lógica dado que la resolución espacial de cada píxel generada por el satélite alberga una mayor área para el registro de la precipitación, mientras las estaciones pluviométricas solo se limitan al colector de lluvia que poseen los pluviómetros o el pluviográficos.

Durante el proceso de adquisición de datos, se pudo observar un mayor grado de precisión de los datos del satélite en lo que respecta a la captura de los datos de precipitación generando 5 decimales por cada valor, en comparación a los datos de precipitación registrados por los pluviómetros o pluviográficos con precisión de dos decimales.

Según los coeficientes de correlación, los datos del satélite TRMM en cuanto al producto TRMM 3B43 son confiables para determinar el comportamiento de la precipitación en cuencas similares a la cuenca del río Bogotá. Solucionando en cierta medida la falta de información pluviométrica en muchas zonas que carecen de la presencia de estaciones pluviométricas. Sin embargo los valores de error absoluto medio aseguran que los datos del satélite TRMM no deben ser aplicados si se quiere conocer la precipitación exacta en zonas de estudio con áreas muy diferentes a los píxeles del satélite TRMM 3B43. Debido a que es más propenso generar una mayor variación de las fluctuaciones de precipitación, aumentando el margen de error en la zona.

Se pudo observar que los datos de registros históricos del satélite TRMM desde el año 1998 hasta el año 2012 no registraron bases de datos incompletas

(ver anexos, comportamiento PMM satélite TRMM), es decir no hubo necesidad de completar valores de precipitación. Contrario a lo que sucede con el registro histórico de las estaciones pluviométricas de la CAR y el IDEAM donde se utilizaron los métodos de regresión lineal y regresión múltiple para completar las bases de datos incompletas. Dichos métodos arrojaron datos que se ajustaban muy bien a la distribución de los datos de precipitación capturados por las estaciones, y de esta manera poder efectuar la comparación con los datos del satélite.

6. RECOMENDACIONES

Debido a los resultados obtenidos por este proyecto se plantean varias recomendaciones para la adquisición de datos del satélite por parte del producto TRMM 3B43 así como la aplicación del mismo estudio en otras regiones de Colombia y el mundo, que cuenten con características similares a la cuenca del río Bogotá.

Se recomienda usar los datos de precipitación acumulada mensual del satélite TRMM en regiones cuya área de estudio sea aproximadamente igual a la de los pixeles debido a que se identificó una buena precisión de la cantidad de lluvia contenida en cada registro histórico del pixel estudiado. Sin embargo no se recomienda usar los datos del satélite, si desea saber con exactitud la precipitación que cae en una zona que no tenga aproximadamente el área superficial de los pixeles del satélite dada la resolución por grilla de 25° N y 25° S.

Se recomienda usar los datos de precipitación del satélite TRMM, para determinar el comportamiento o tendencia de dicha variable sin importar el área de estudio de la cual se quiere tener información. Pero como se manifestó anteriormente no se recomienda usar los datos del satélite TRMM para cuantificar las lluvias que se presentan en zonas con tamaños no equivalentes a los del pixel.

Se recomienda aplicar el presente estudio en zonas de Colombia y el mundo que cuenten con un relieve plano y altura de elevación baja. Para determinar la fluctuación de la precipitación de acuerdo a la relación estación-pixel. Ya que el TRMM tiene en cuenta la altura superficial terrestre para proyectar los perfiles verticales y así poder cuantificar la lluvia.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ditudor. (2010) Ditudor. [Online]. <http://www.ditudor.com/geometria/areas.html>
- [2] Universidad Autonoma del Hidalgo. (2012, enero) Algoritmos. [Online]. http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa1/algoritmos.pdf
- [3] Investea. (2003) Didactica ambiental. [Online]. <http://www.didacticaambiental.com/cursos/teledeteccion/1fundamsat.html>
- [4] NASA. (1999) TRMM home. [Online]. http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/qa.html#1
- [5] Anonimo. (2002, May) Analisis de caudales. [Online]. [http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales\(2\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales(2)(2).pdf)
- [6] Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2013) Lección 13. Clasificación de Horton. [Online]. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/MODULO%20HIDROLOGIA/leccin_13_clasificacin_de_horton.html
- [7] Real academia de ingenieria. (2004) Real academia de ingenieria. [Online]. <http://diccionario.raing.es/es/lema/cobertura-0>
- [8] Vitutor. (2012) Vitutor. [Online]. <http://www.vitutor.com/estadistica/bi/covarianza.html>
- [9] The free Dictionary. (2014) The free Dictionary. [Online]. <http://es.thefreedictionary.com/fluctuaci%C3%B3n>
- [10] Carlos Palacio y Uriel Garcia Francisco Garcia. (2008) GENERACIÓN DE MALLAS NO ESTRUCTURADAS. [Online]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/15057/1/9549-16507-1-PB.pdf>
- [11] A. Sabala. (2006, Jan.) Analisis del modulo de geoprocresamiento. [Online]. <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCAQFjAB&url=https%3A%2F%2Fjoinup.ec.europa.eu%2Fsvn%2Fgvsig-desktop%2Ftrunk%2Fextensions%2FextGeoProcessing%2Fdoc%2Fanalisis.odt&ei=hUIJVOTFMorzgwSGj4EY&usq=AFQjCNEauBh1uTezqoDCivUr>
- [12] Claudia A. Naso. (2006) Optica. [Online]. <http://www.cam.educaciondigital.net/fisica/apuntes/optica.pdf>
- [13] Cristina Gogu. (2011, 14) Imagenes vectoriales e imagenes raster. [Online]. <http://es.slideshare.net/cristina20g/imagen-raster-e-imagen-vectorial-10586253>
- [14] Anonimo. (2011, Aug.) Interpolación. [Online]. <http://www.prof.uniandes.edu.co/~gprieto/classes/compu fis/interpolacion.pdf>
- [15] Anonimo. (2008, July) Diseño de isolineas y uso del premapa. [Online]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1239/7/06CAPI05.pdf>
- [16] Anonimo. (2012, Aug.) [Online]. http://www.bdigital.unal.edu.co/7965/46/10214128.1989_Parte15.pdf
- [17] Anonimo. (2012, Jan.) Las linea de latitud y de longitud. [Online]. http://studentatlasoforegon.pdx.edu/spanish/PDFs/Map08_Sp.pdf
- [18] Rodriguez Vallejo y Carrión San Juan. (2006, Sep.) Magnitudes fisicas. [Online]. <http://www.ies->

- mcatalan.com/jefatura/archivos/RecursosFisica/F%C3%ADsica%201%C2%BA%20Bachillerato/Teor%C3%ADa/01%20Magnitudes%20f%C3%ADsicas.pdf
- [19] Santillana. (2000, Feb.) Perímetro de polígonos. [Online]. http://www.xelu.net/pdf/materials/2/santillana_perimetro_poligonos.pdf
- [20] Madeleine Renom. (2011) Pluviometría. [Online]. http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teorico/Bolilla6-PLUVIOMETRIA.pdf
- [21] 3M. (2004) Reflectividad. [Online]. http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSufSevTsZxtUoY_vn8t1evUgevTSevTSeSSSSSS--&fn=b4.pdf
- [22] Teledet. (2005) Teledet. [Online]. <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/satelites-resolucion-espacial.htm>
- [23] UPCENT. (2003, Nov.) Imágenes de satélite. [Online]. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6981/06CAPITOL3.pdf?sequence=6>
- [24] María de Lourdes Muñoz y Guadalupe S. García de la Torre Gabriela de la Guardia Gonzales. (2011) Sesgo o error de medición. [Online]. http://www.facmed.unam.mx/deptos/salud/censenanza/plan2010/epiclin/unidad6/anexo6_comp_DeLaGuardia.pdf
- [25] Martín A. Díaz Viera. (2002) Geoestadística aplicada. [Online]. <http://mmc2.geofisica.unam.mx/cursos/geoest/GeoEstadistica.pdf>
- [26] Marbelo. (01, 2002) INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN. [Online]. <http://marbelo.webs.ull.es/rs1.pdf>
- [27] CAR-Cundinamarca. (2007, Jan.) Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. [Online]. http://sanantoniodeltequendama-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/303963393231663766353063636461/Resumen_Ejecutivo.pdf
- [28] DAMA. (2004, agosto) Proyecto de descontaminación y recuperación de la cuenca del río Bogotá. [Online]. http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/DAMA_2004_Descontaminacion_rio_Bogota.pdf
- [29] Oscar Mesa, Germán Poveda, Jaime Vélez, Carlos Hoyos, Ricardo Mantilla, Janet Barco, Adriana Cuartas, María Montoya, Blanca Botero. Freddy Mejía. (2005) DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y CICLOS ANUAL Y SEMIANUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA. [Online]. file:///C:/Users/Jrivas/Downloads/Mejia%20et%20al_PrecipitacionColombia_Dyna.pdf
- [30] NASA. (2013) Precipitation measurement missions. [Online]. <http://pmm.nasa.gov/node/289>
- [31] Pablo Sebastian Reyes Muñoz. (2010, June) Análisis y descripción de la plataforma Giovanni. [Online]. <http://www.iecolab.es/sites/default/files/Trabajo%20de%20master.pdf>
- [32] Senamhi. Gidahatari. [Online]. <http://gidahatari.com/ih-es/satelite-trmm>
- [33] NASA. (2004) TRMM home- posgrado. [Online]. http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/why-grad.html

- [34] NASA. TRMM Home. [Online]. http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/why-univ.html
- [35] NASA. (2008, Sep.) Goddard space flight center. [Online]. http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/background.html
- [36] NASA. (2014) Nasa science. [Online]. <http://science.nasa.gov/missions/>
- [37] JAXA y NASA. (2012, julio) Instruction manual V7. [Online]. http://mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B43_006.shtml
- [38] NASA y JAXA. (2014, June) datos de precipitación producto TRMM 3B43. [Online]. http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/documentation/TRMM_README/TRMM_3B43_readme.shtml/
- [39] NASA. (2011, June) TRMM instruments. [Online]. http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/virs.html
- [40] NASA. (2014, June) Visualización TRMM online y sistema de análisis (Tovas). [Online]. http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=TRMM_Monthly
- [41] D. Labat, J. Loup Guyot, J. Ronchail y J.J. Ordoñez W.S Lavado Casimiro. (2009, Dec.) Validación de lluvia utilizando TRMM en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicación en modelos mensuales de balance hídrico.
- [42] F.Ruiz y S.J. Connor Dinku. (2012, Nov.) Validation of daily satellite rainfall products over south america.
- [43] T.V.Omotosho y J.S. Ojo. (2013, 25) Comparision of 1-min rain rate derived from TRMM satellite data and raingauge data for microowave applications in Nigeria.
- [44] Zhongbo Yu, Li Li y Chuanguo Yang Cheng Chen. (2011, Sep.) Adaptability Evaluation of TRMM Satellite Rainfall and Its aplication in the Dongjiang river basin. [Online]. http://ac.els-cdn.com/S187802961100260X/1-s2.0-S187802961100260X-main.pdf?_tid=fb9a6456-5884-11e4-acc7-00000aacb361&acdnat=1413829070_af859aa4ee76605d30570de768f82ac6
- [45] Zhuoqi Chen, Kun Yang, Shunlin Liang y Wenjun Tang Jun Qin a. (2011) Estimation of monthly-mean daily global solar radiation based on MODIS. [Online]. http://ac.els-cdn.com/S0306261911000213/1-s2.0-S0306261911000213-main.pdf?_tid=2bd763ee-58d0-11e4-8874-00000aacb35d&acdnat=1413861364_e0e213cd853f4374c1c715ebc4efb542
- [46] F. Javier Sanchez San Roman. (2008, June) Precipitaciones. [Online]. <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- [47] Migueli Cerro Carpio. (2006, Oct.) Precipitación. [Online]. <http://www.olivacordobesa.es/Precipitaci%F3n.pdf>
- [48] Marco Antonio. (2013, Nov.) Precipitación.
- [49] Anonimo. (2000, May) Mecanismos de condensacion precipitación. [Online]. <http://www.um.es/geograf/clima/tema05.pdf>
- [50] Hector H. (2010, Dec.) Precipitaciones. [Online]. <http://agr.unne.edu.ar/Materias/Agroclima/Precipitaciones.pdf>
- [51] J.P Chiara. (2010, Aug.) Fundamento para la medicón de la precipitacion. [Online].

- [http://www.fagro.edu.uy/~agromet/Fundamento%20de%20la%20medicion%20de%20la%20precipitacion 2010.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~agromet/Fundamento%20de%20la%20medicion%20de%20la%20precipitacion%202010.pdf)
- [52] Alfred Muller. (2013, Aug.) pluviómetros y pluviógrafos. [Online]. <http://www.rfuess-mueller.de/221-0S.pdf>
- [53] Universidad de Oriente. (2009, febrero) Precipitacion, el agua en la atmosfera. [Online]. <http://www.slideshare.net/hidrologia/3-la-precipitacin>
- [54] Jorge A. Zea y W. Murillo Samir Cordoba. (2006, Mar.) ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA, EVALUACIÓN DE LA RED PLUVIOMETRICA Y CUANTIFICACIÓN DEL BALANCE HIDRICO. [Online]. http://www.geociencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_23/file/Meteorolog%C3%ADa%20Colombiana%20N%C2%BA%2010/10-9.pdf
- [55] Max toro. (2006, mayo) El valor de la información hidrometeorologica en colombia. Documento.
- [56] Henry Mendoza. (2002) Metodos de regresion. [Online]. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2007315/html/un1/cont_01_01.html
- [57] Renata kisys y Angel A. Juan. (2006, Dec.) Modelo de regresión multiple. [Online]. http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/T01_Reg_LinealMultiple.pdf
- [58] NASA y JAXA. (2011, June) NASA Facts: TRMM Instruments. [Online]. http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/instrumentfacts.html
- [59] Bruno Collisconn. (2006, marzo) Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuido. [Online]. <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/7684>
- [60] The HDF group. (2011, May) HDF. [Online]. <http://www.hdfgroup.org/products/hdf4/whatishdf.html>
- [61] Carlos Camacho. (2007, Mar.) Coeficiente correlación de Pearson. [Online]. <http://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- [62] Lucelly. (2012, Apr.) Cuantificación de errores. [Online]. http://fisica.udea.edu.co/~lab-gicm/Labatorio_Fisica_1_2012/2012_Cuantificacion%20de%20errores.pdf
- [63] Irene Ortega, Juan Carrillo, Andres Pardo y Jeiser Rendon Diego Murillo. (2012, June) COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA GENERACION DE MAPAS DE RUIDO EN ENTORNOS URBANOS. [Online]. <http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v3n1/v3n1a7.pdf>
- [64] Oscar Rondon. (2014, June) Kriging. [Online]. www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLopez/
- [65] Arcgis Desktop. (2012, Nov.) Arcgis Resource Center. [Online]. <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000076000000>
- [66] Jorge Zavaleta Sanchez. (2010, Sep.) Kriging: un método de interpolación sobre datos dispersos.
- [67] CAR- Cundinamarca. (2012, Dec.) Adecuacion hidraulica y recuperacion del rio bogotá. [Online]. [http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/257803-1351801841279/ATTOH2UG .pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/257803-1351801841279/ATTOH2UG.pdf)

- [68] IDEAM. (2008, Sep.) Estudi de la caracterización climática de Bogotá. [Online]. <http://www.empresavirgiliobarco.gov.co/concurso/Documents/ANEXO%209%20Estudio%20de%20Caracterizaci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tica.pdf>
- [69] S. Braun, "Tropical Rainfall Measuring Mission," Goddard space flight center, NASA, USA, 2011.
- [70] NASA y JAXA. (2010) Sisitema de análisis y visualización TOVAS. [Online]. http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/download.cgi?wsid=140338748518842&app=latlonplot&instance_id=TRMM_Monthly&sid=140338745718704&workFlowName=Lat-Lon%20map,%20Time-averaged&gsid=TRMM_Monthly_190.158.11.190_1403387332

8. ANEXOS

ANEXO 1. ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS PRESENTES DENTRO DE LA CUENCA RIO BOGOTÁ.

ID	CODIGO	ESTACIONES PLUVIOMETRI CAS	CLAS	TIP	EST	FDA	DEPART	MUNICIPIO	CORRIEN	ALT. msnm	Y	X
1	2120130	AUSTRALIA	MET	PM	ACT	IDEAM	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	BOGOTA	3050.0	977659106,00	993957846,00
2	2120165	STA ROSITA	MET	PM	ACT	IDEAM	CUNDINAMARCA	SUESCA	BOGOTA	2750.0	1057471008,00	1035482339,00
3	2120105	LOURDES	MET	PM	ACT	IDEAM	CUNDINAMARCA	GACHANCIPA	BOGOTA	2750.0	1042752312,00	1023598327,00
4	2120164	VILLAPINZON GJA	MET	PG	ACT	IDEAM	CUNDINAMARCA	VILLAPINZON	BOGOTA	2745.0	1073855675,00	1053950052,00
5	2120640	VICTORIA LA	MET	CP	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	TOCAIMA	BOGOTA	380.0	985696594,00	942011124,00
6	2120646	MESITAS	MET	CO	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	BOGOTA	1100.0	998586041,00	962364732,00
7	2120658	COGUA	MET	CP	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	COGUA	BOGOTA	2620.0	1050182881,00	1010443048,00
8	2120659	REPRESA SISGA	MET	CO	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	BOGOTA	2675.0	1053878379,00	1038163879,00
9	2120027	SAUCIO	MET	PG	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	BOGOTA	2640.0	1056706102,00	1041150034,00
10	2120043	VILLAPINZON	MET	PG	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	VILLAPINZON	BOGOTA	2700.0	1066789.59	1052939232,00
11	2120060	GUARANI EL PENON	MET	PG	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	SIBATE	BOGOTA	2800.0	981993676,00	975305845,00
12	2120074	ZIPAQUIRA	MET	PG	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRA	BOGOTA	2655.0	1046496539,00	1008595313,00
13	2120159	ALCO	MET	PG	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRA	BOGOTA	2590.0	1033595228,00	1008596821,00
14	2120166	FUTE	MET	PG	ACT	CAR- CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	SOACHA	BOGOTA	2607.0	1000423453,00	977160882,00

15	2120177	ANCLAJE 14	MET	PG	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	BOGOTA	1110.0	1000428.24	964215024,00
16	2120182	PENAS BLANCAS	MET	PG	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	BOGOTA	2450.0	994898282,00	966062086,00
17	2120516	RAMADA LA	MET	CO	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	FUNZA	BOGOTA	2545.0	1013322242,00	988259.19
18	2120183	DARIO VALENCIA	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	BOGOTA	790.0	1000430939,00	958666758,00
19	2120184	LAG DEL INDIO	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	VIOTA	CALANDAI MA	2050.0	978315195,00	956805542,00
20	2120190	COL JOSE DE CALDAS	MET	PG	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	VIOTA	CALANDAI MA	400.0	983848.6	949409163,00
21	2120637	VIOLETA LA	MET	ME	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	AGUA DE DIOS	BOGOTA	400.0	976489616,00	930904482,00
22	2120557	PRIMAVERA	MET	CP	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	SUBACHOQUE	SUBACHO QUE	2590.0	1028067201,00	984564001,00
23	2120559	APTO GUAYMARAL	MET	SS	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2560.0	1024379547,00	999353792,00
24	2120565	TABIO	MET	CP	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	TABIO	CHICU	2620.0	1018852115,00	1015994319,00
25	2120632	FORTUNA LA	MET	ME	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	VILLAPINZON	BOGOTA	2880.0	1076005202,00	1052932215,00
26	2120639	MESA LA	MET	CP	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	LA MESA	APULO	1300.0	1004116116,00	960518026,00
27	2120649	ESC SAMPER MADRID	MET	CP	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	APULO	CALANDAI MA	550.0	991224569,00	943864749,00
28	2120652	PALOQUEMA O	MET	CO	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	ZIPACON	APULO	2450.0	1017014114,00	967920677,00
29	2120044	PRADERA LA	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	SUBACHOQUE	SUBACHO QUE	2703.0	1044653248,00	993809033,00
30	2120055	UNION LA-EL ROSAL	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	SUBACHOQUE	SUBACHO QUE	2725.0	1029911097,00	980867005,00
31	2120069	TESORO-VERTIENTES	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	FACATATIVA	BALSILLAS	2610.0	1022541143,00	973469642,00

32	2120080	SAN JOSE	MET	PG	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	GUASCA	EMB TOMINE	2700.0	1042812.59	1019685926,00
33	2120088	SALITRE EL - NEUSA	MET	PG	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	TAUSA	NEUSA	3140.0	1064927065,00	1008593096,00
34	2120659	CASITA LA	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	LA CALERA	TEUSACA	3045.0	1004106502,00	1006750832,00
35	2120156	PICOTA LA	MET	PG	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	TUNJUELITO	2580.0	996734358,00	993805139,00
36	2120173	CAMPOBELLO	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	MADRID	BALSILLAS	2490.0	1018857.17	967921448,00
37	2120548	IBERIA LA	MET	CP	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	CHOCONTA	SISGA	2760.0	1048350133,00	1040015.06
38	2120136	STA INES	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	TENJO	CHICU	2550.0	1024379798,00	993807342,00
39	2120174	MANJUI	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	FACATATIVA	BALSILLAS	3260.0	1022544086,00	966074114,00
40	2120629	VENECIA	MET	CP	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	FACATATIVA	SUBACHO QUE	2673.0	1029918.1	962380.01
41	2120647	ESPERANZA LA	MET	CP	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	LA MESA	APULO	1240.0	1011483513,00	971616675,00
42	2120103	STA TERESA	MET	PG	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	TEUSACA	C. TEUSACA	3080.0	995560,00	986200,00
43	2120085	BOSQUE EL	MET	PM	ACT	CAR-CUNDINAMARCA	CUNDINAMARCA	TUNJUELO	TUNJUELO	2880.0	986200,00	995560,00

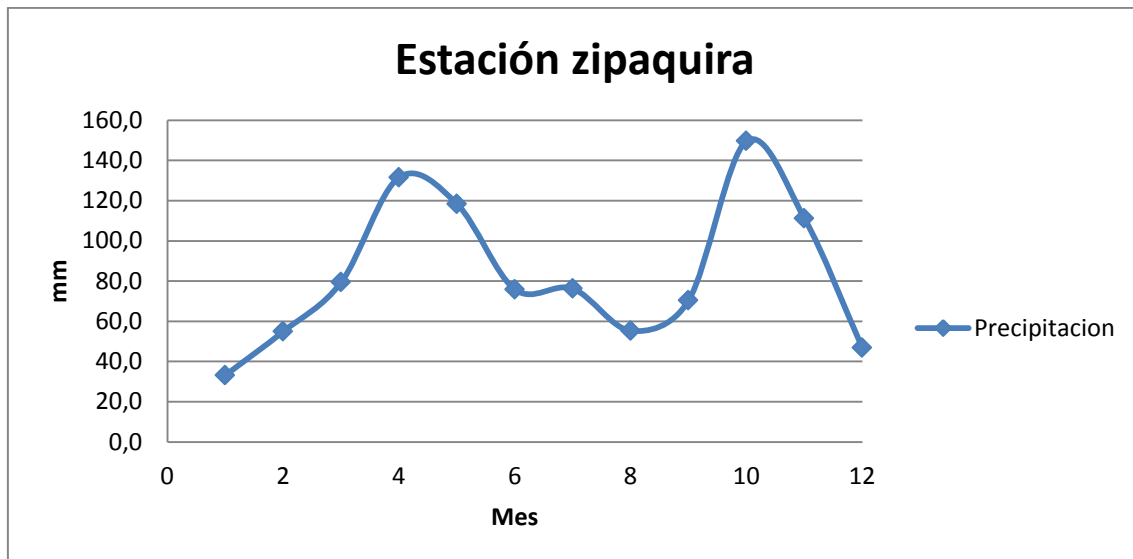
Fuente: elaboración propia, datos suministrados por la CAR- Cundinamarca e IDEAM

En la tabla anterior se puede observar las distintas estaciones pluviométricas que se encuentran dentro de la cuenca. Entre sus atributos más destacados son los siguientes: el código que tiene una clasificación estándar dada la medición y el registro de la variable meteorológica, en este caso la precipitación. El tipo de estación (TIP), indica la cantidad de variables meteorológicas que puede llegar a medir una estación siendo las estaciones principales (CP) las más completas. FDA el instituto que tiene como

propiedad dichas estaciones, La corriente o subcuenca que alberga la cuenca, la altura (ALT) en msnm que posee cada estación y las coordenadas, que permiten saber con exactitud la ubicación de las estaciones, tomando como referencia la latitud y longitud; en este caso las coordenadas son planas.

ANEXO 2: PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.

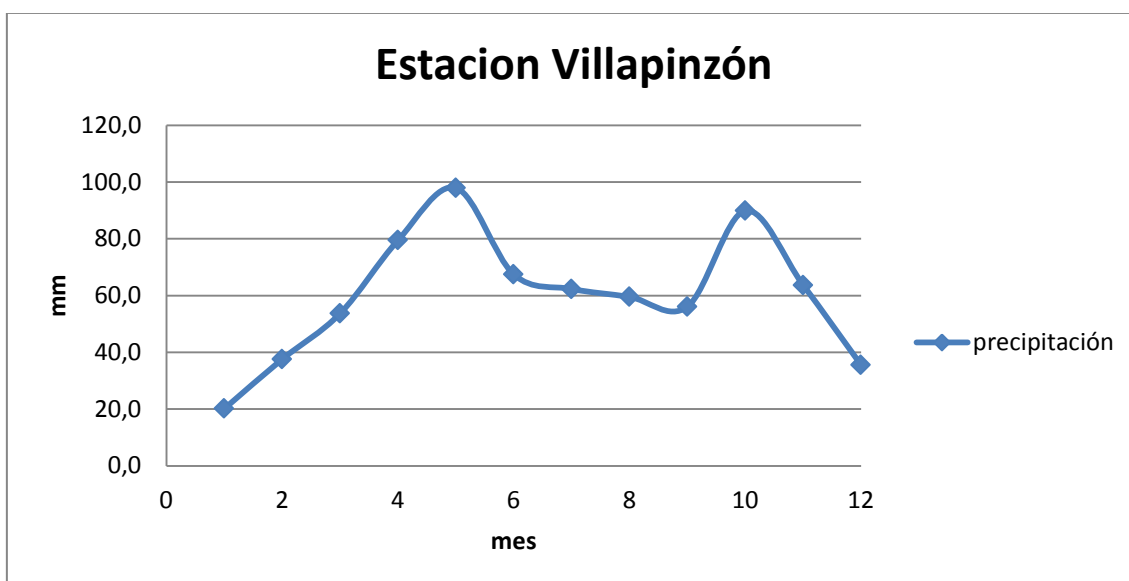
Figura 32: Histogramas de las 43 estaciones pluviométricas dentro de la cuenca.



Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 149mm y la más baja en el mes de enero con 33 mm.



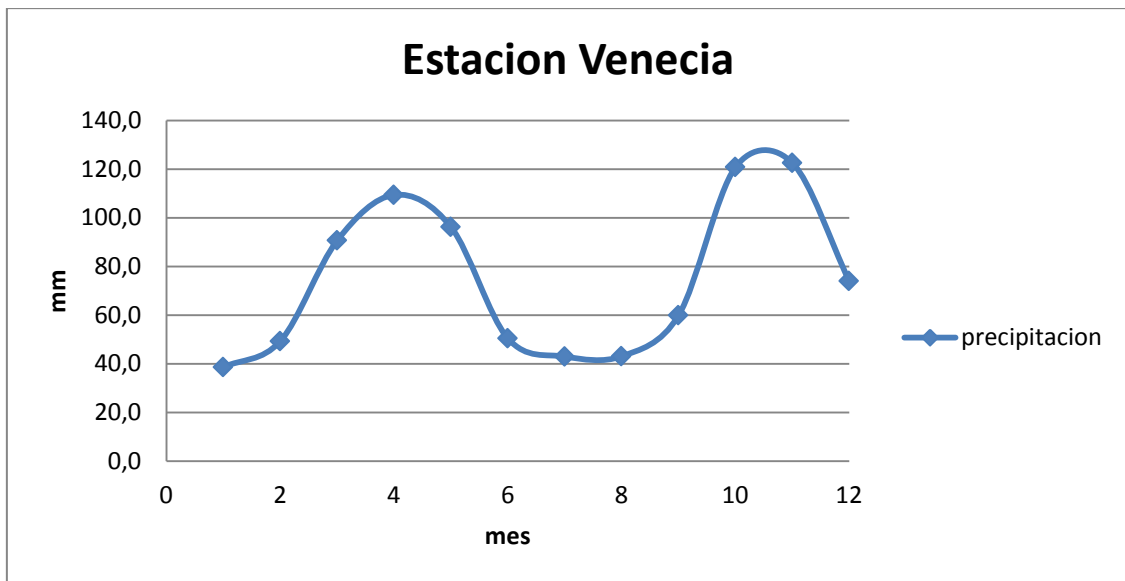
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con un pico más notorio que el otro. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 184mm y la más baja en el mes de agosto con 35 mm.



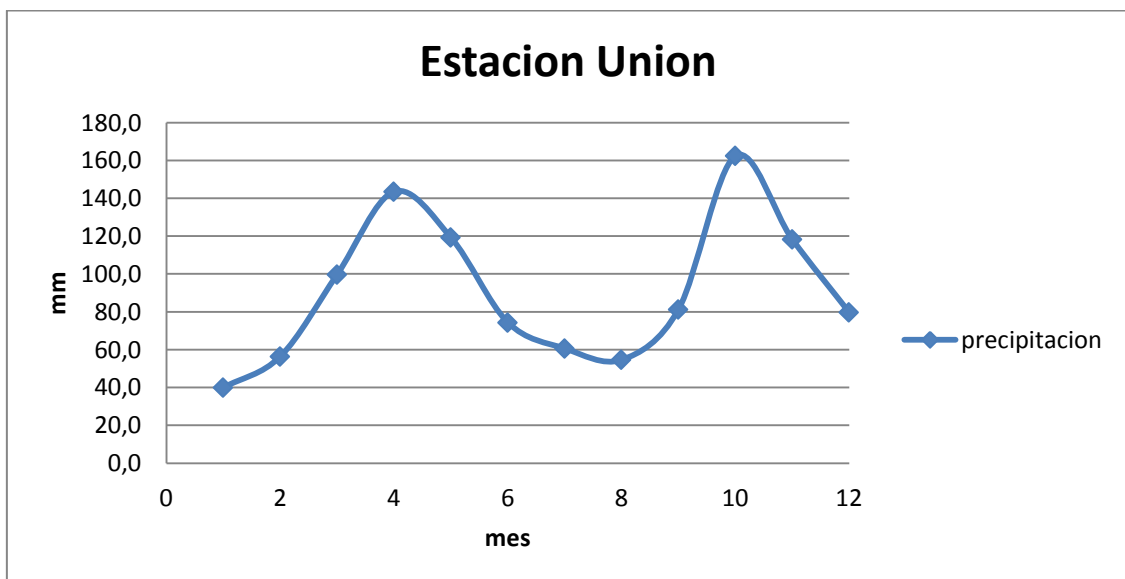
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de mayo y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de mayo con 98mm y la más baja en el mes de enero con 20mm.



Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de noviembre. La precipitación máxima se presenta en el mes de mayo con 179mm y la más baja en el mes de agosto con 35mm.



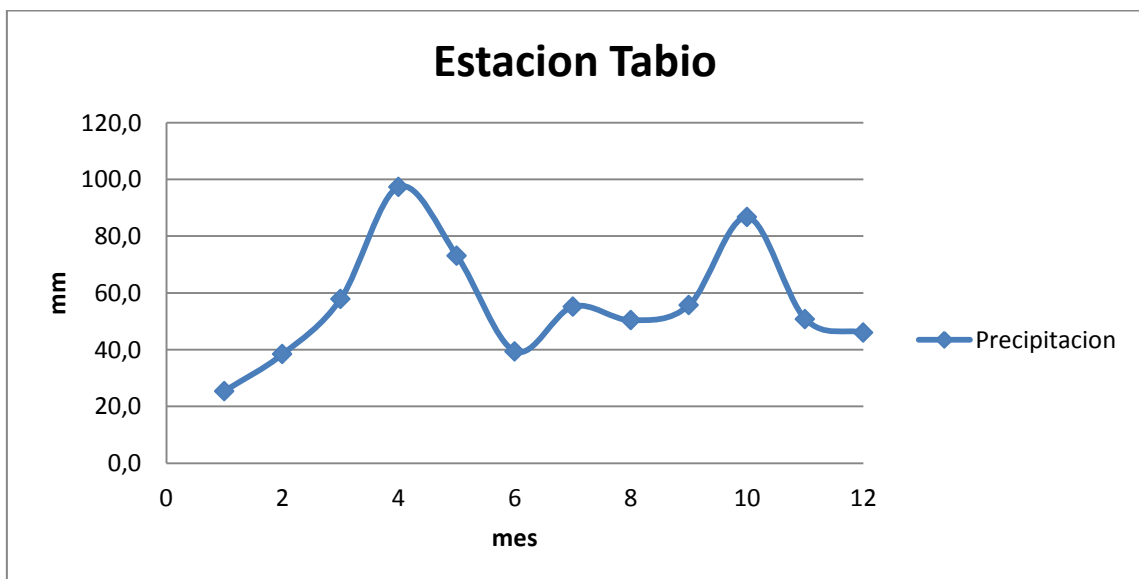
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de noviembre. La precipitación máxima se presenta en el mes de noviembre con 122mm y la más baja en el mes de agosto con 39mm.



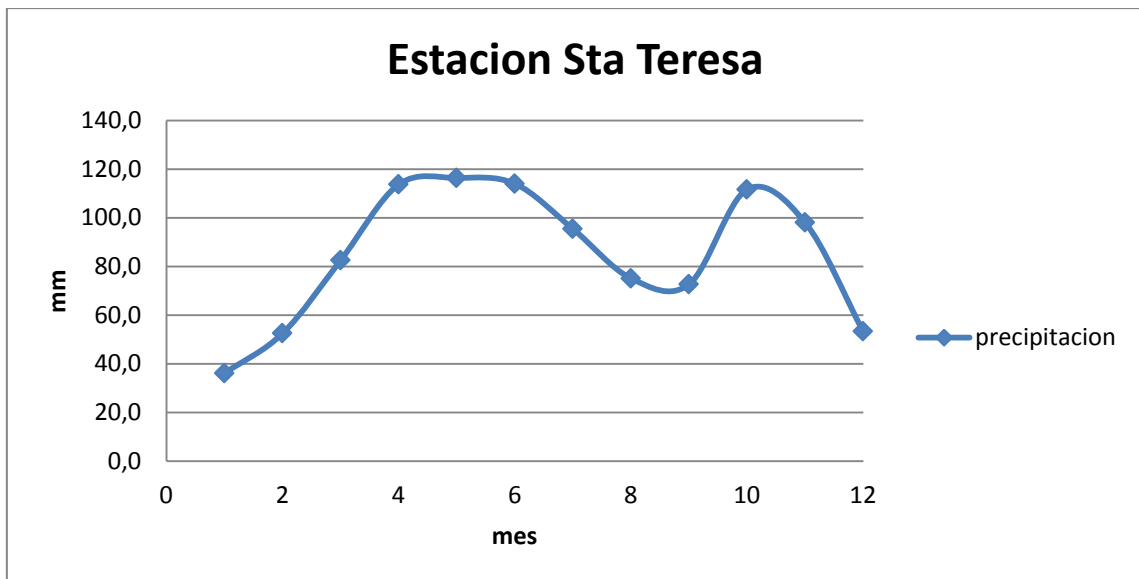
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 162mm y la más baja en el mes de enero con 40mm.



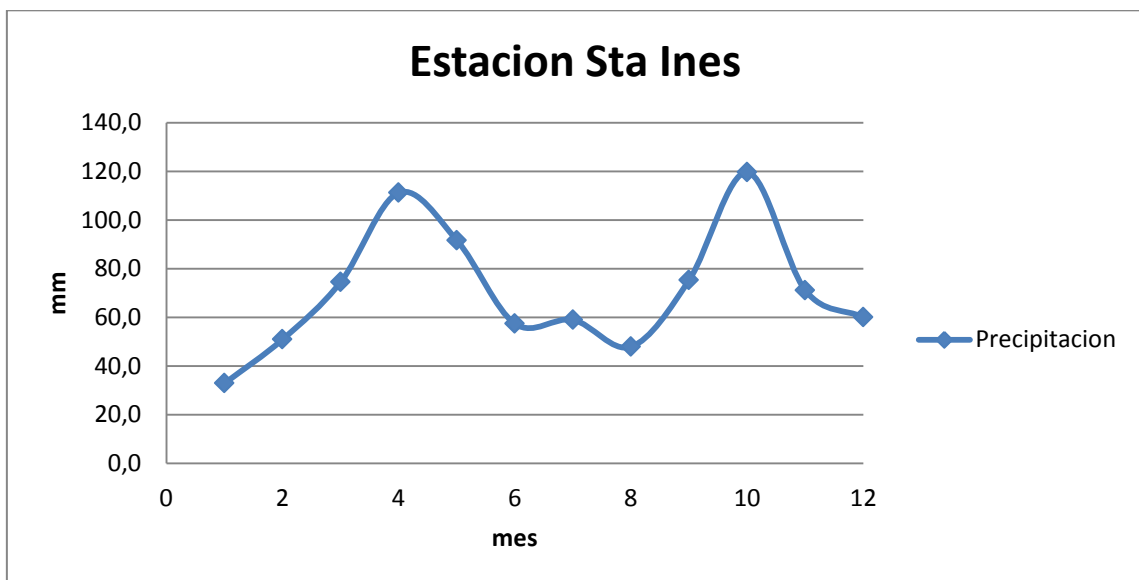
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 152 mm y la más baja en el mes de enero 34 mm.



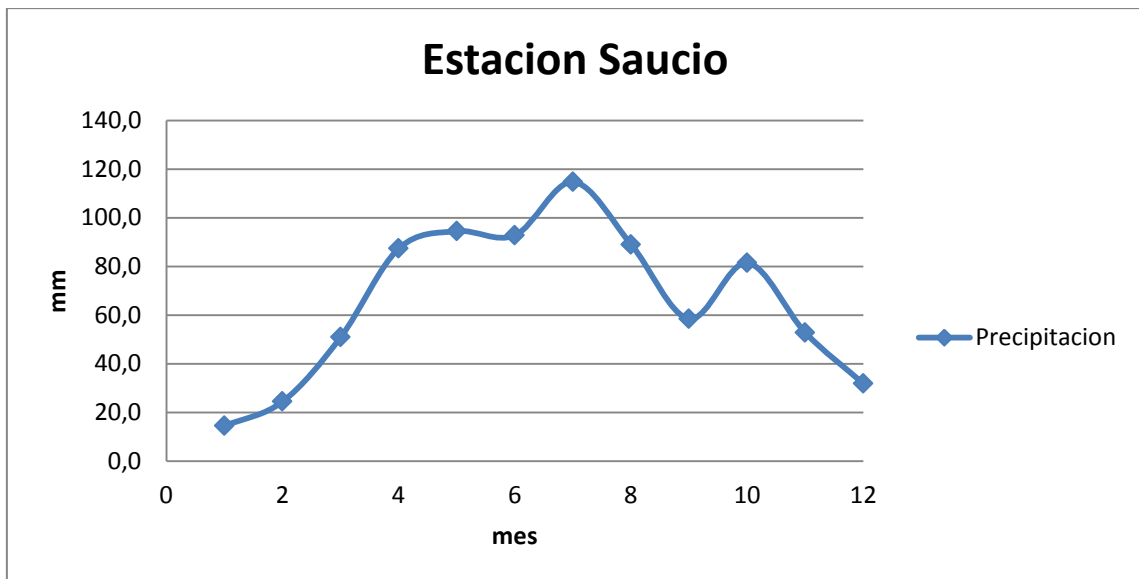
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 97 mm y la más baja en el mes de enero con 22 mm.



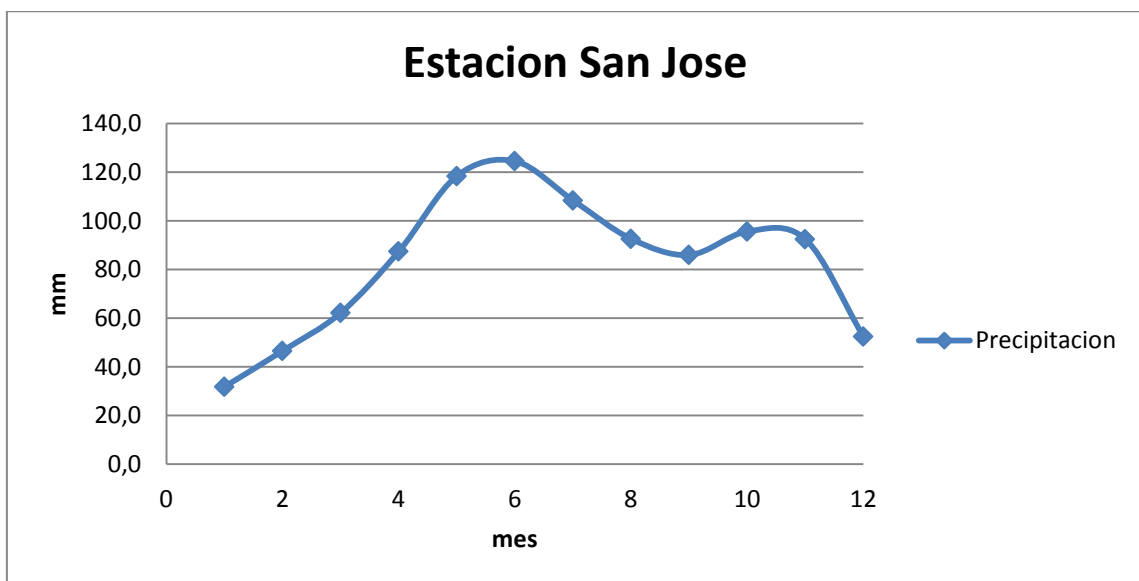
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de mayo y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de mayo con 116 mm y la más baja en el mes de enero con 36 mm.



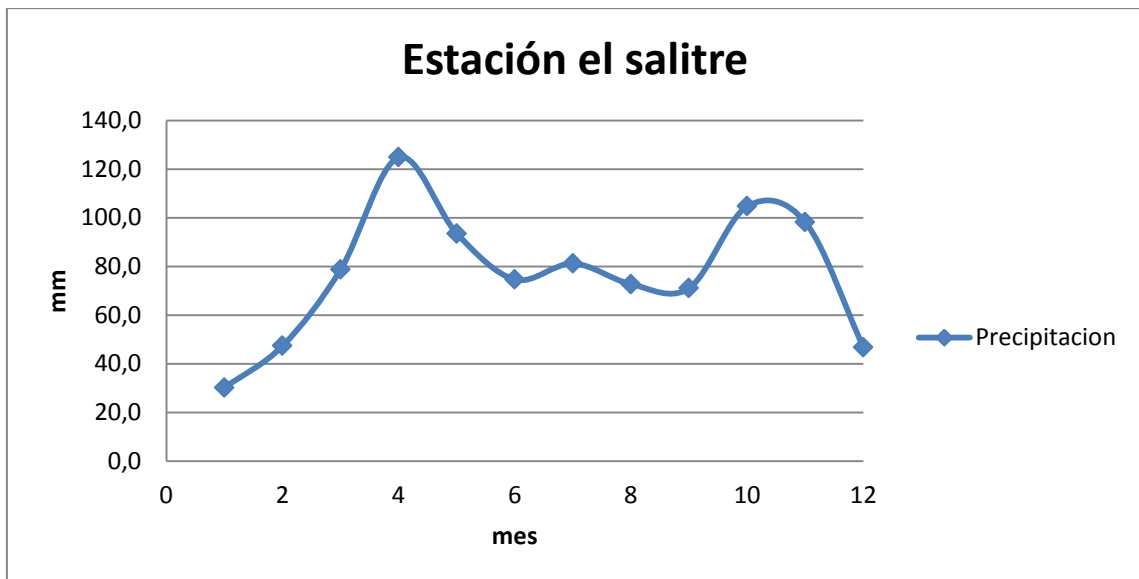
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 120 mm y la más baja en el mes de enero con 32 mm.



Se aprecia un comportamiento asimétrico, no es usual que se de este tipo de comportamiento, pero se debe a que en esta zona las precipitaciones fueron extenuantes empezando desde el mes de abril y terminado en el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de julio con 114 mm y la más baja en el mes de enero con 14mm.



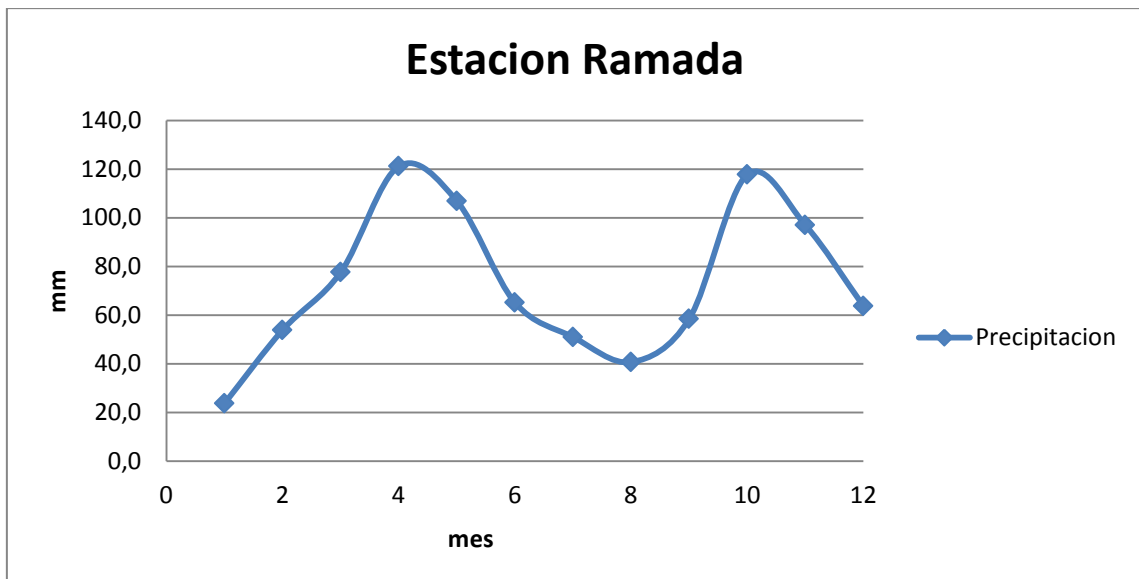
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con un pico mas pronunciado que el otro. La precipitación máxima se presenta en el mes de junio con 124 mm y la más baja en el mes de enero con 32 mm.



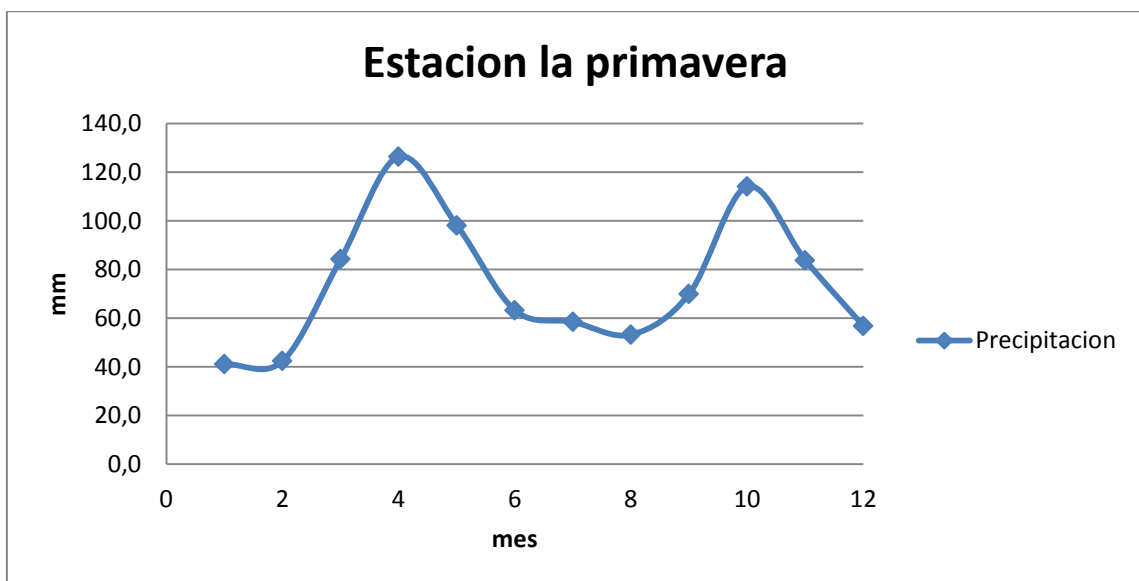
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 125 mm y la más baja en el mes de enero con 30 mm.



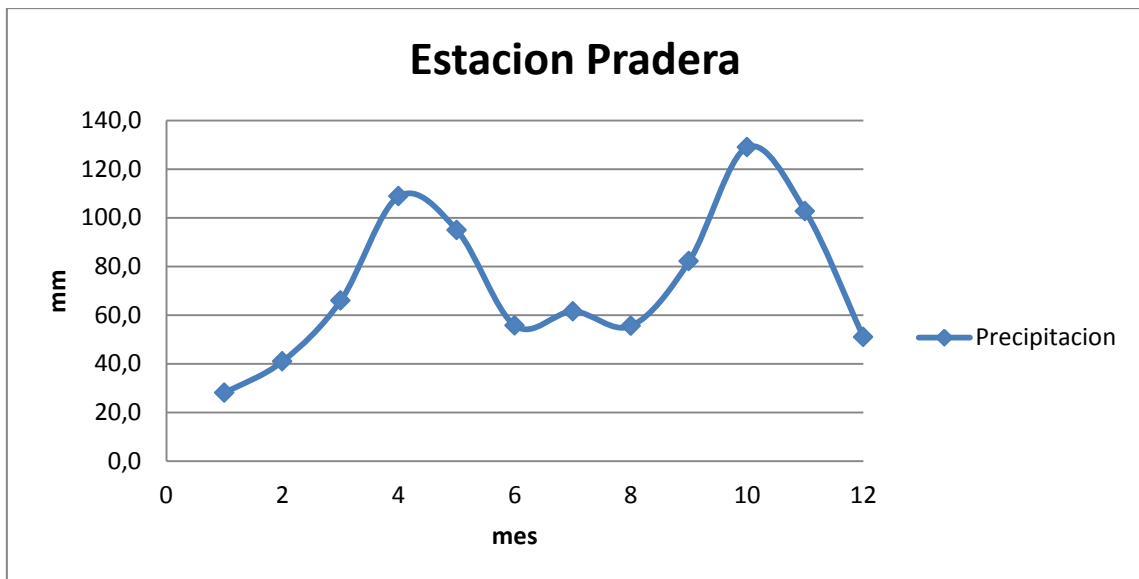
Se aprecia un comportamiento asimétrico, no es usual que se de este tipo de comportamiento, pero se debe a que en esta zona las precipitaciones fueron extenuantes empezando desde el mes de abril y terminado en el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de junio con 137 mm y la más baja en el mes de enero con 20 mm.



Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 120 mm y la más baja en el mes de enero con 21 mm.



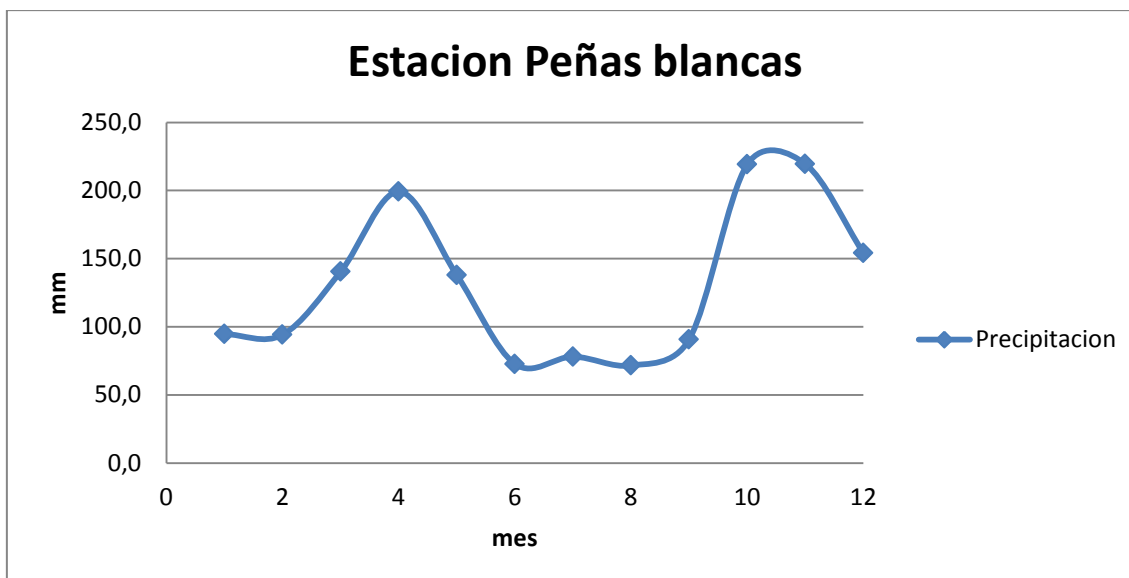
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 125 mm y la más baja en el mes de enero con 40 mm.



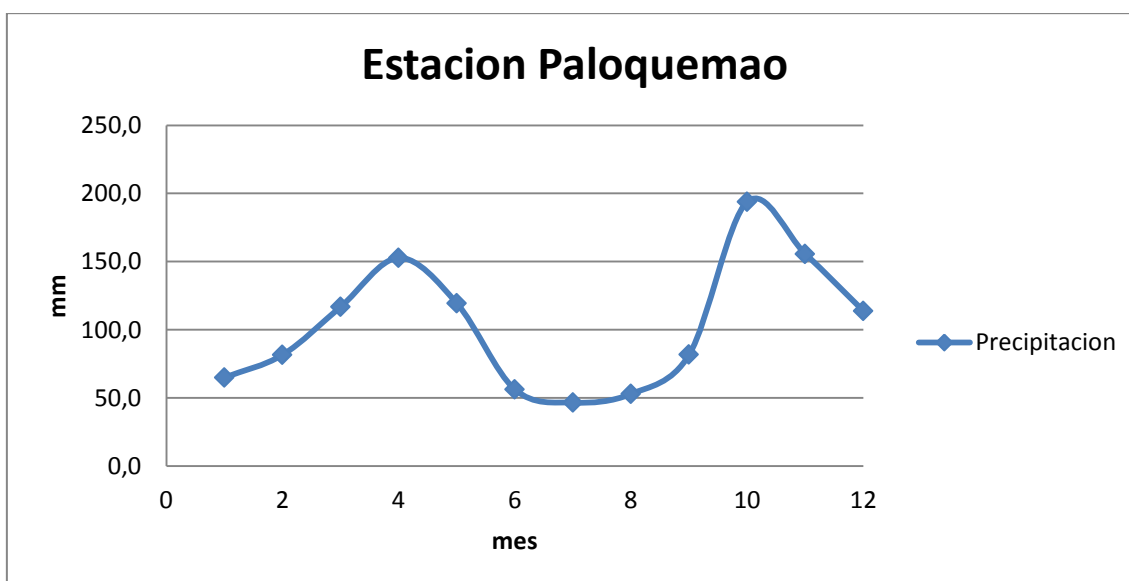
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 130 mm y la más baja en el mes de enero con 24 mm.



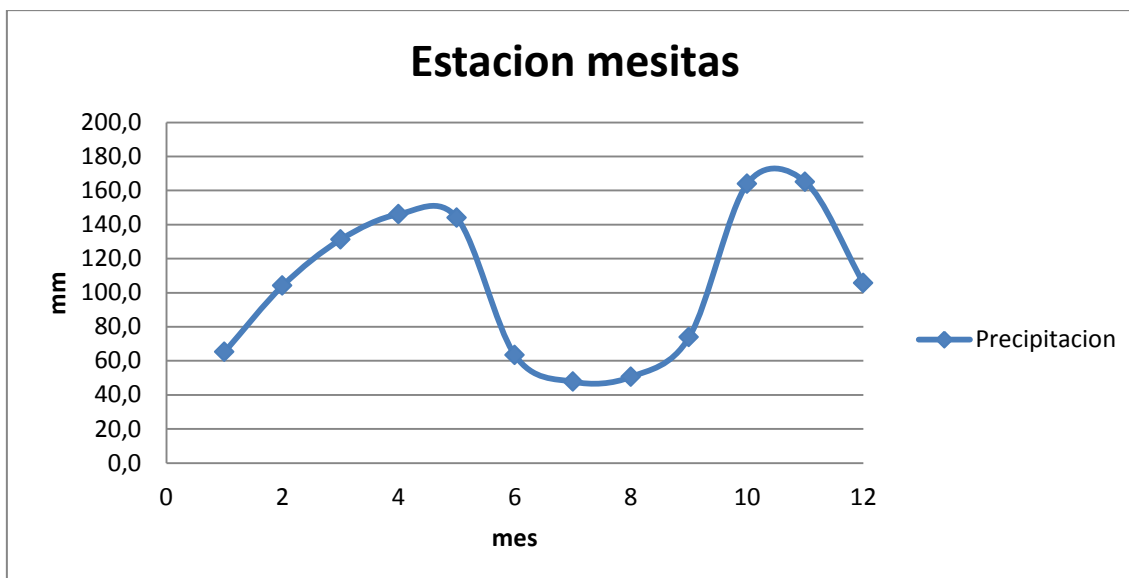
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de noviembre. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 95 mm y la más baja en el mes de enero con 22 mm.



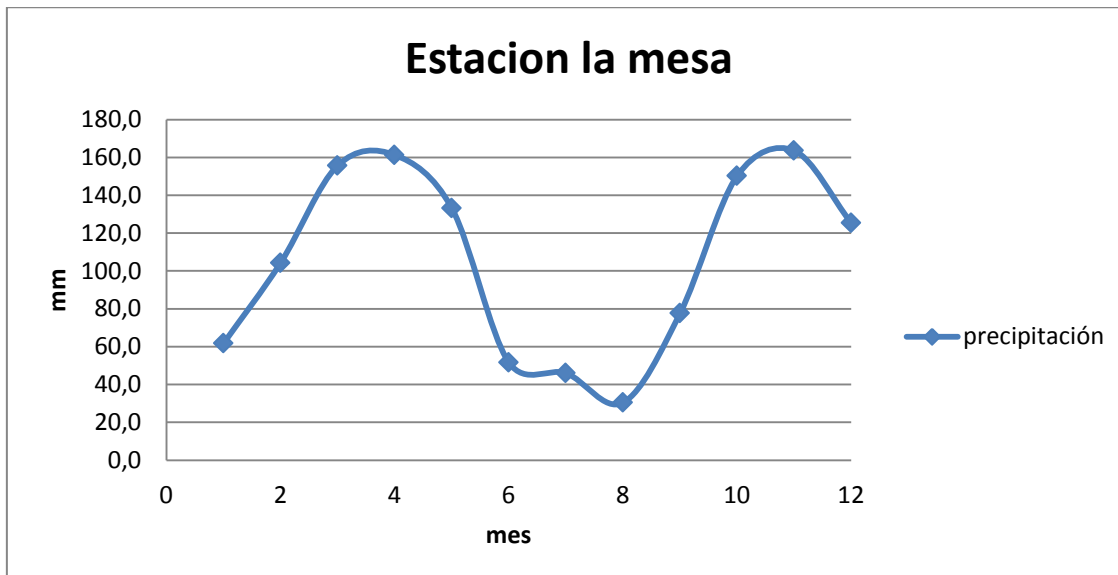
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de noviembre. La precipitación máxima se presenta en el mes de noviembre con 220 mm y la más baja en el mes de enero con 98 mm.



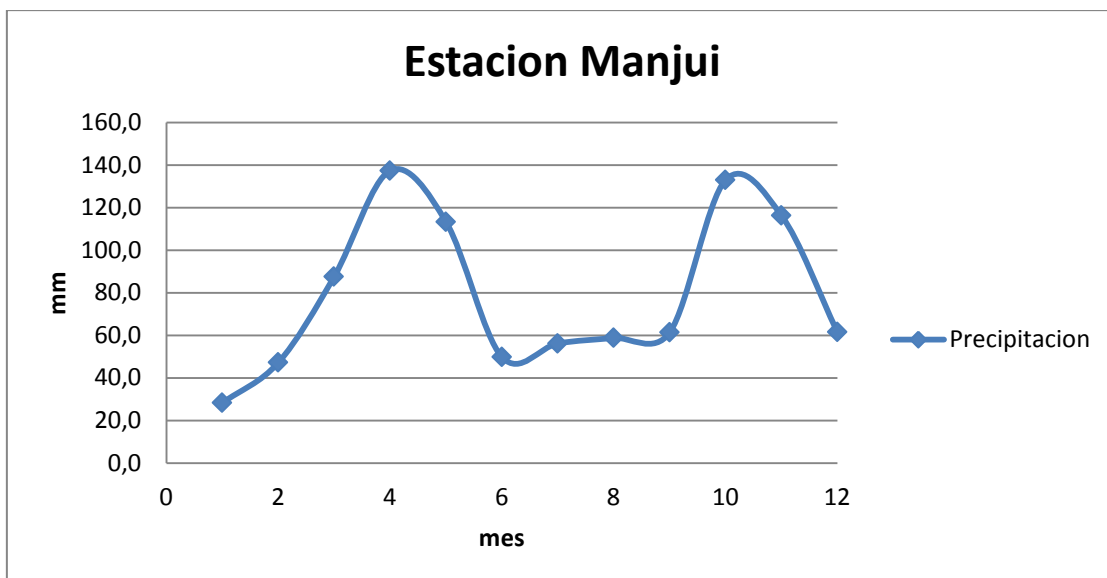
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes en el mes de abril y el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 197 mm y la más baja en el mes de julio con 48 mm.



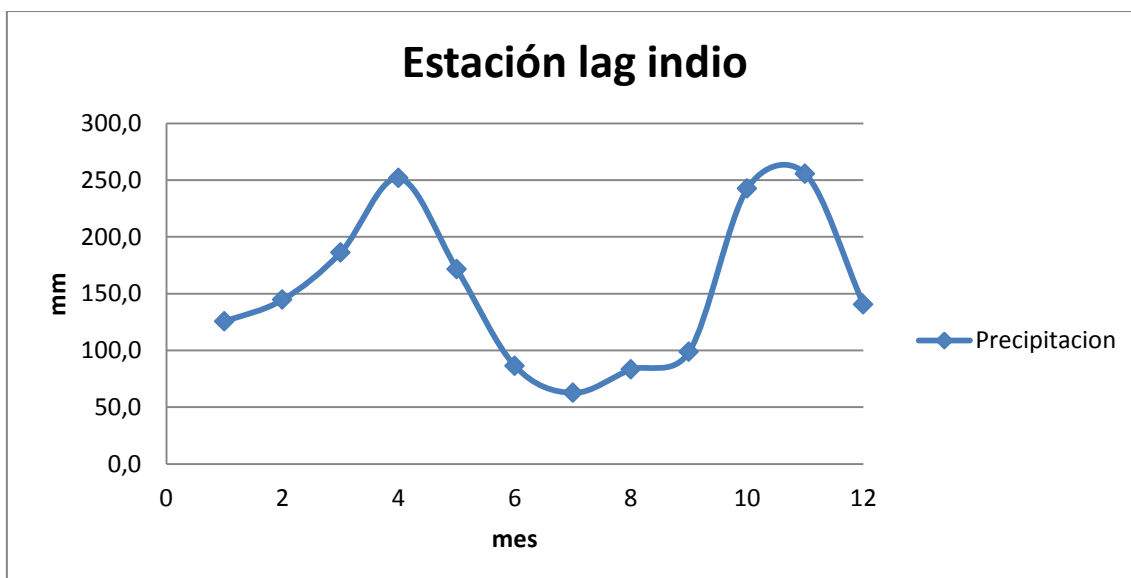
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de noviembre con 163 mm y la más baja en el mes de julio con 44 mm.



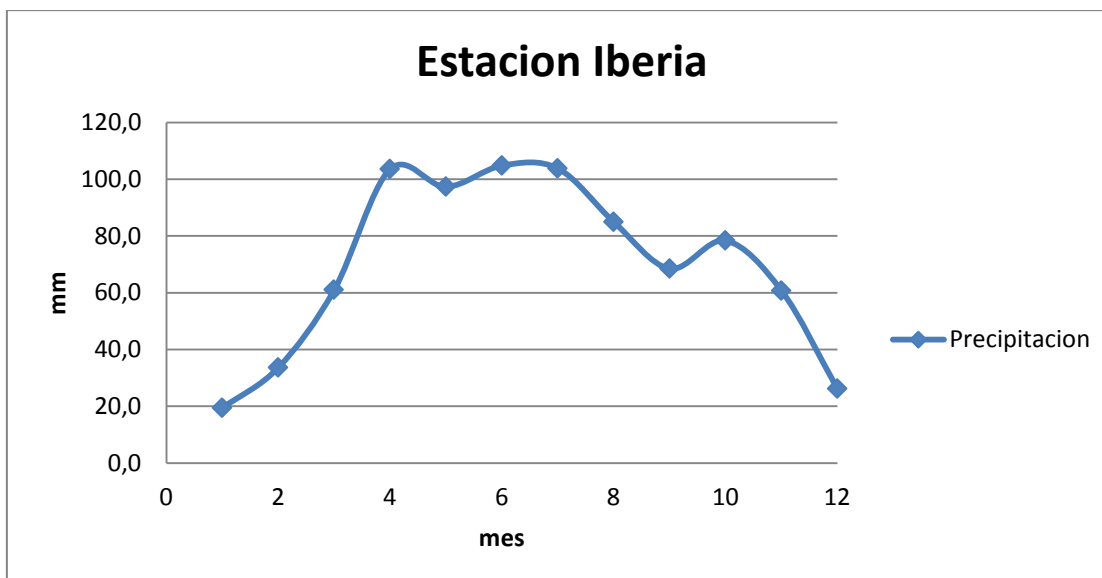
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se encuentra en el mes de noviembre con 162 mm y la más baja en el mes de agosto con 35 mm.



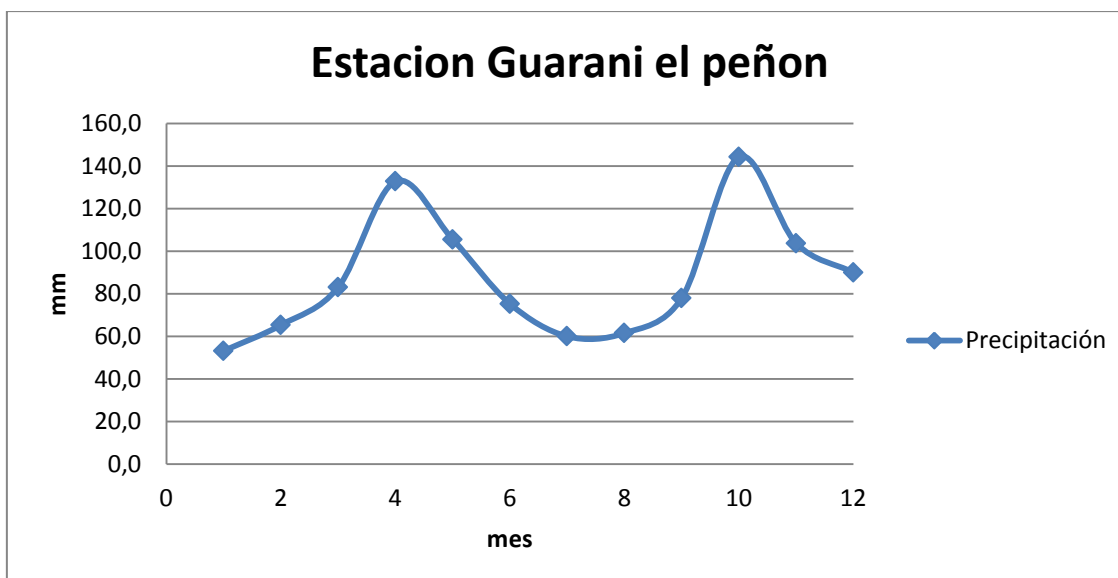
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 139 mm y la más baja en el mes de enero con 23 mm.



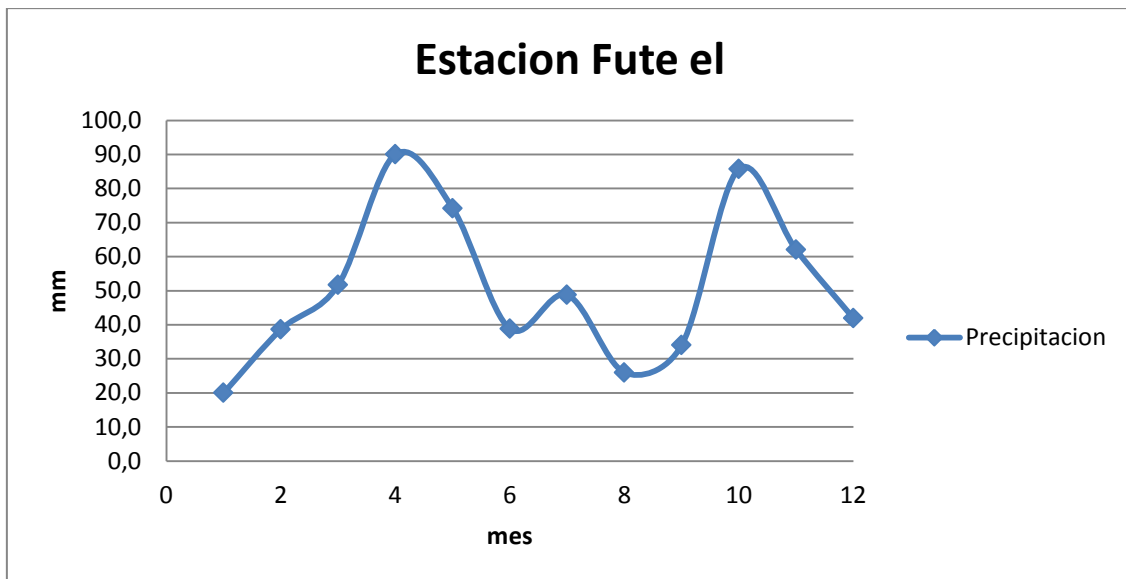
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de noviembre con 152mm y la más baja en el mes de julio con 55 mm.



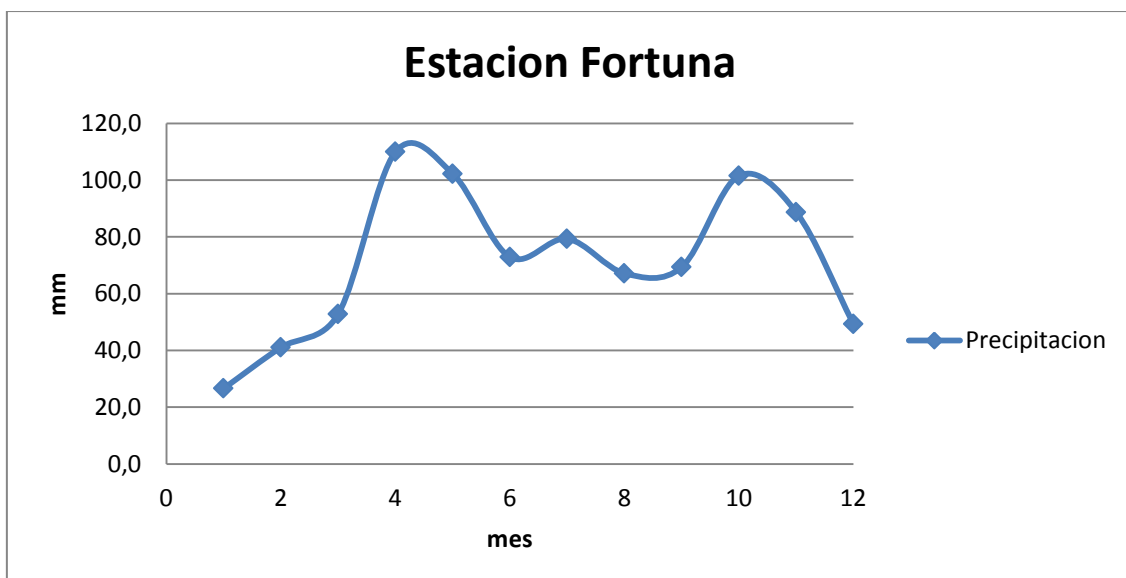
Se observa un comportamiento asimétrico, no es usual que se de este tipo de comportamiento, pero se debe a que en esta zona las precipitaciones fueron extenuantes empezando desde el mes de abril y terminado en el mes de octubre. La precipitación máxima se presenta en el mes de junio con 106 mm y la más baja en el mes de enero con 18 mm.



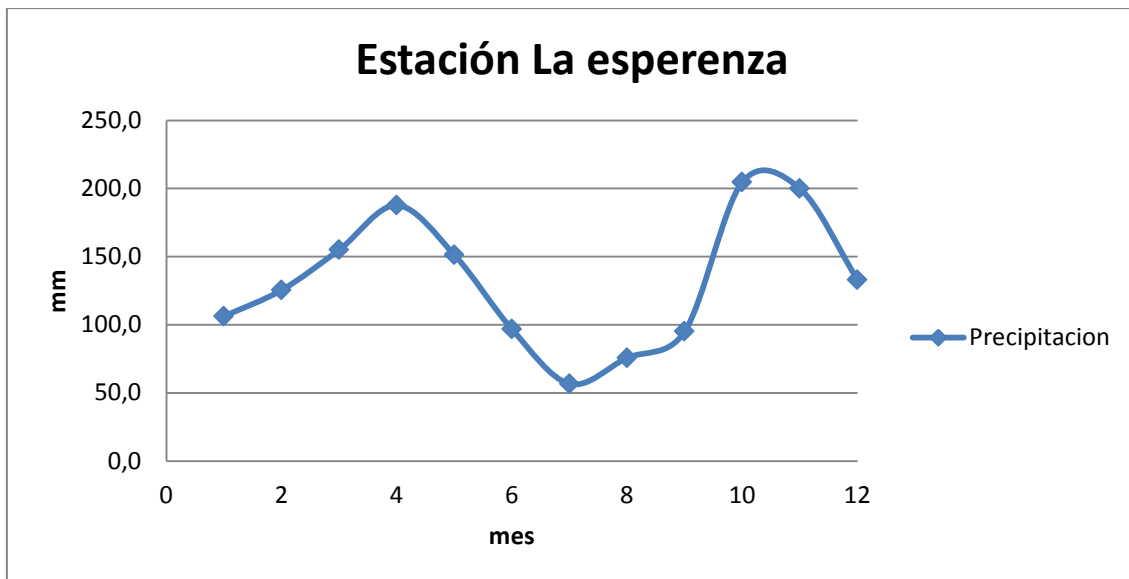
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de noviembre con 144 mm y la más baja en el mes de enero con 44 mm.



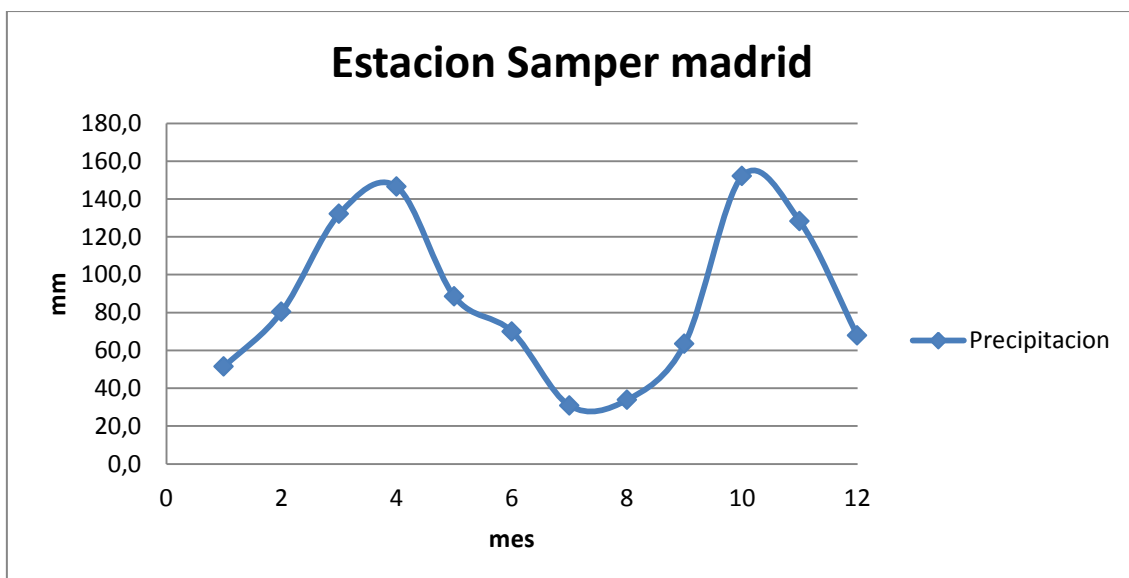
Se aprecia un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 90 mm y la más baja en el mes de enero con 18 mm.



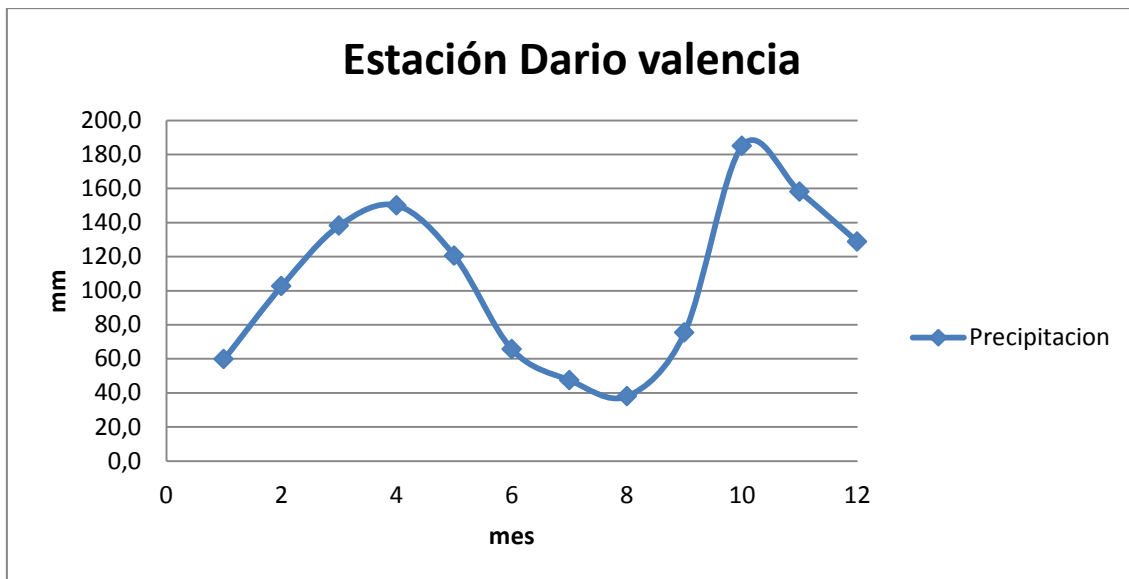
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 115 mm y la más baja en el mes de enero con 24 mm.



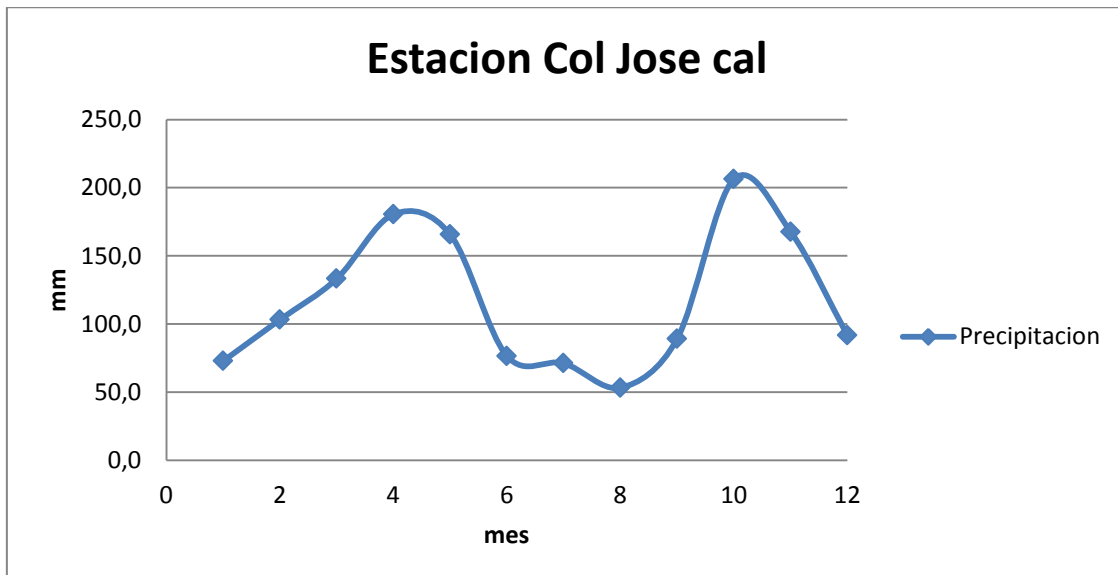
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 202 mm y la más baja en el mes de julio con 52 mm.



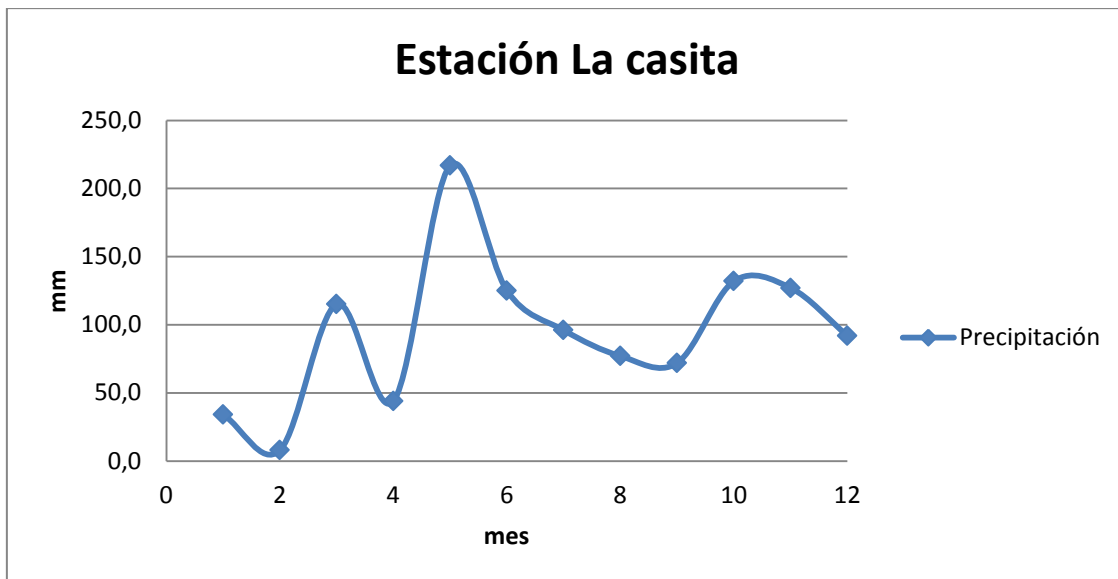
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 152 mm y la más baja en el mes de julio con 26 mm.



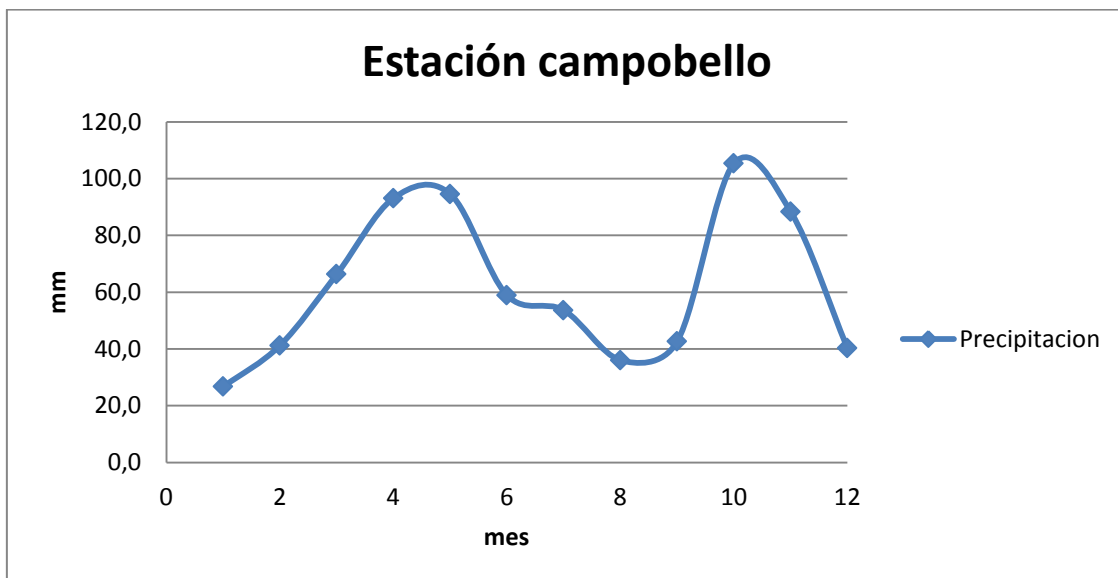
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 182 mm y la más baja en el mes de julio con 38 mm.



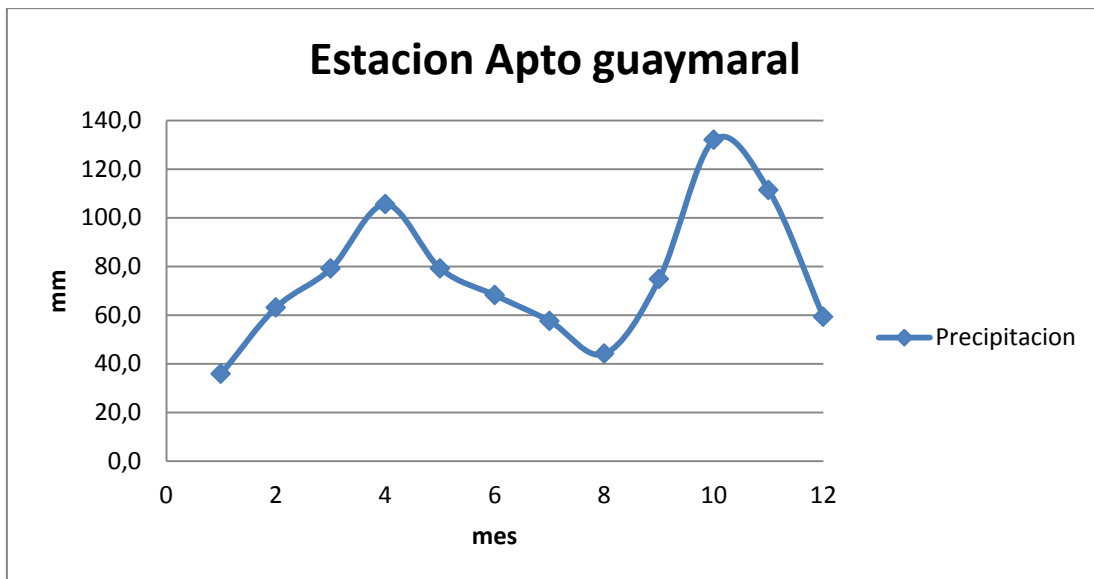
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 203 mm y la más baja en el mes de julio con 49 mm.



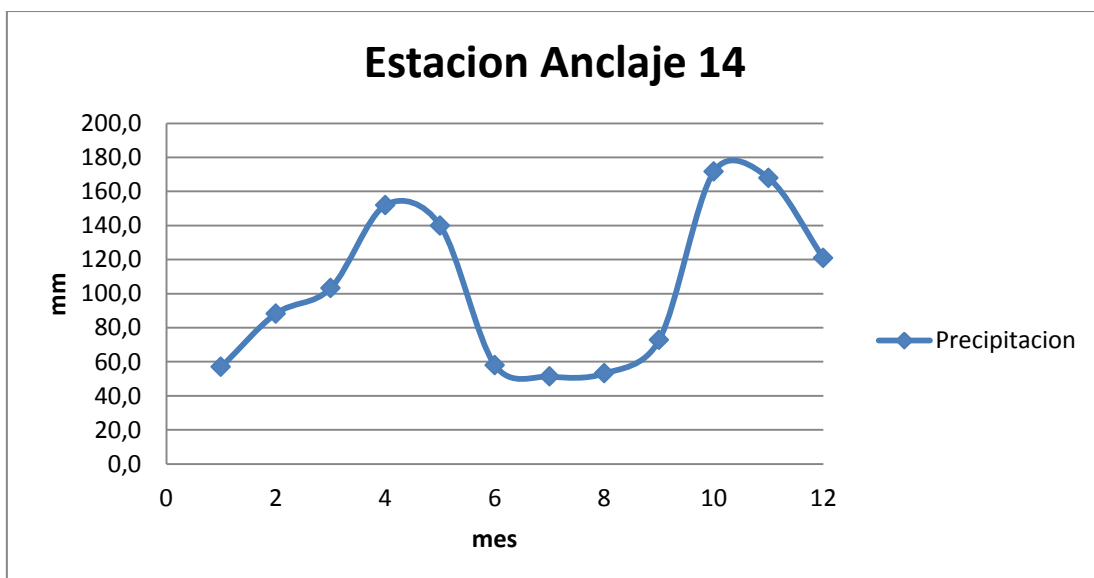
Se observa un comportamiento no muy usual de la variable PMM con tres picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de mayo con 217 mm y la más baja en el mes de febrero con 8 mm.



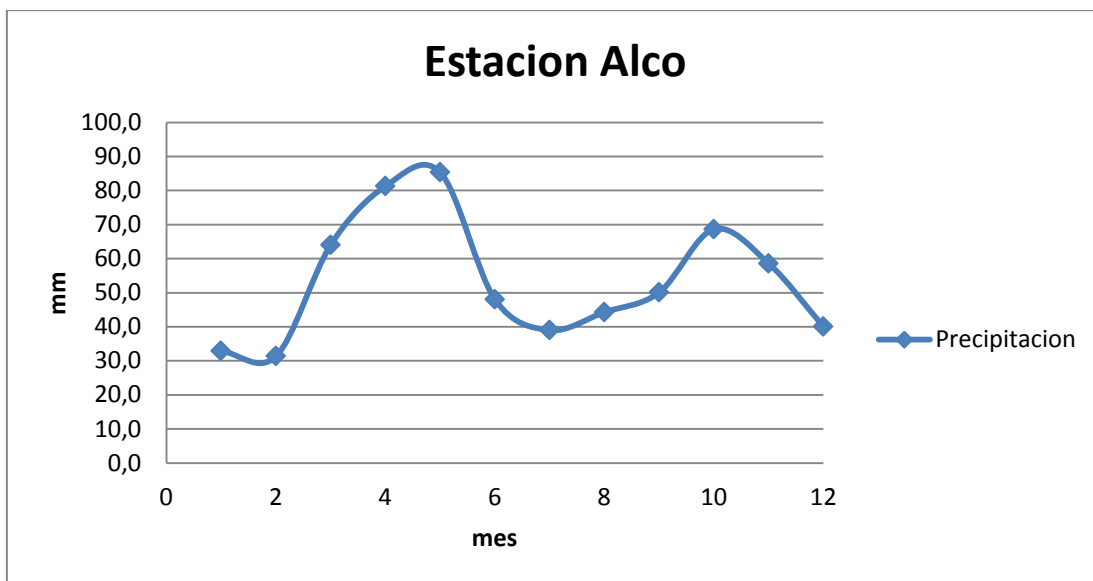
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 104 mm y la más baja en el mes de enero con 24 mm.



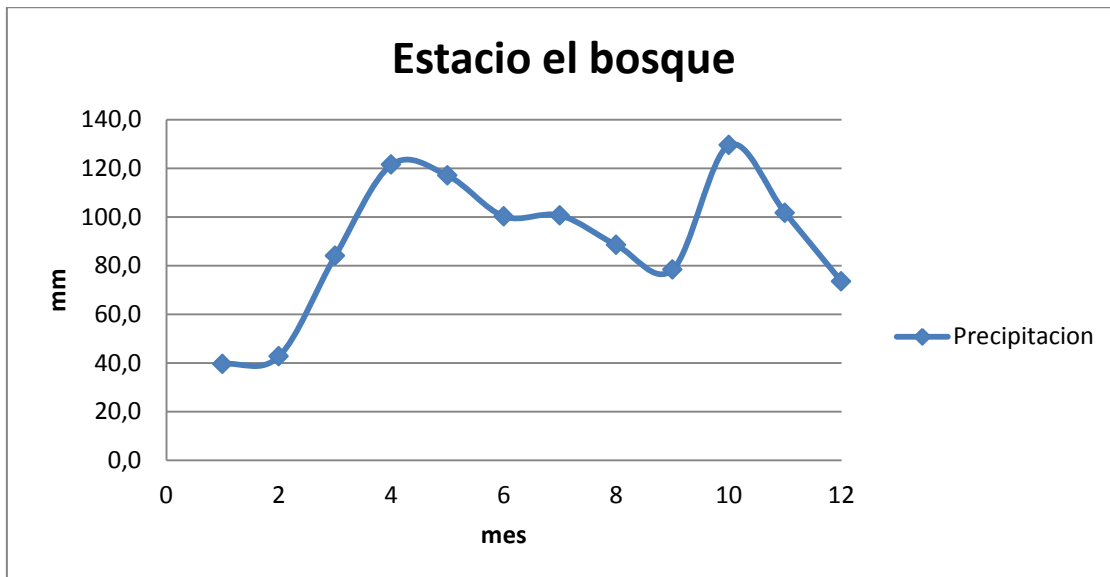
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 130 mm y la más baja en el mes de enero con 33 mm.



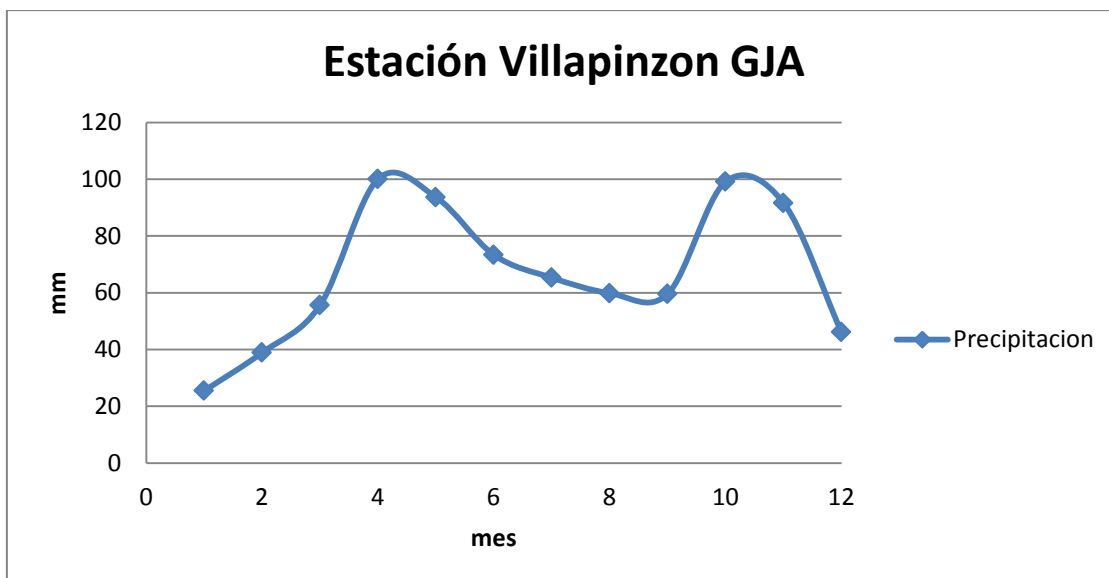
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 175 mm y la más baja en el mes de julio con 50 mm.



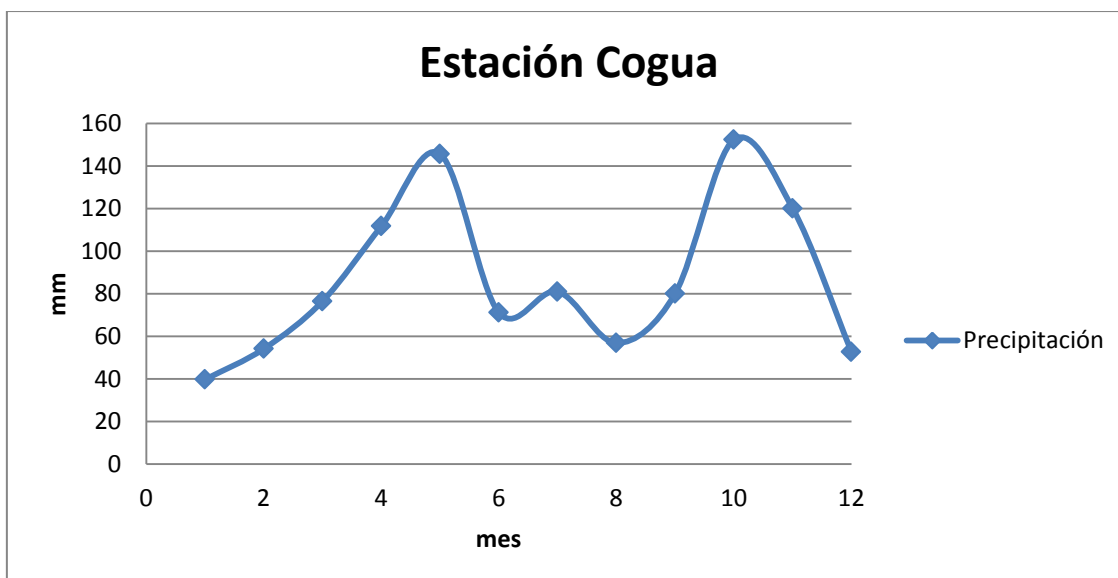
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de mayo con 86 mm y la más baja en el mes de febrero con 30 mm.



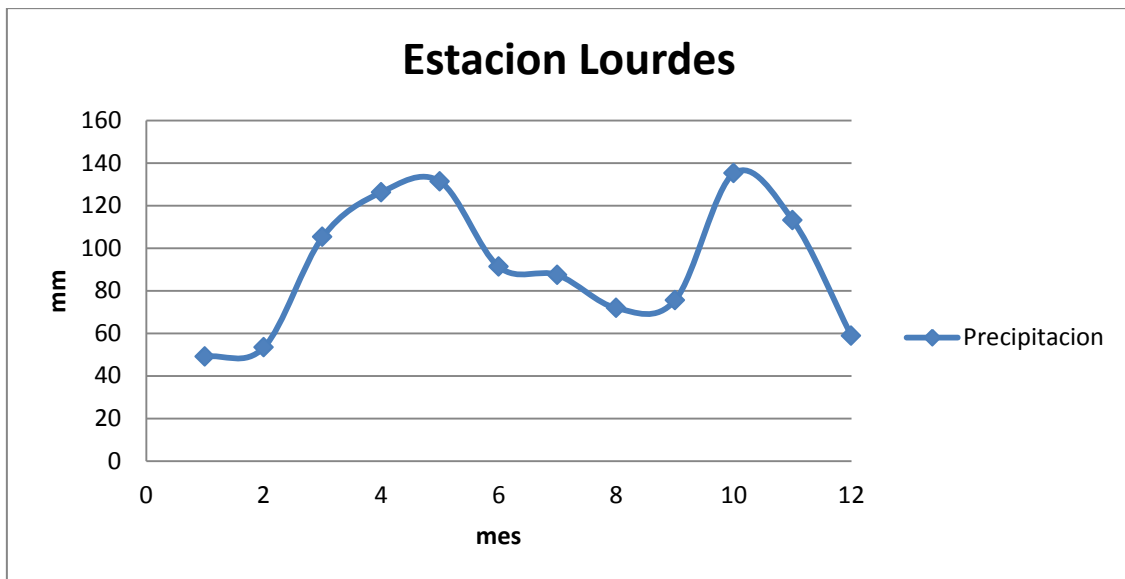
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 131 mm y la más baja en el mes de enero con 39 mm.



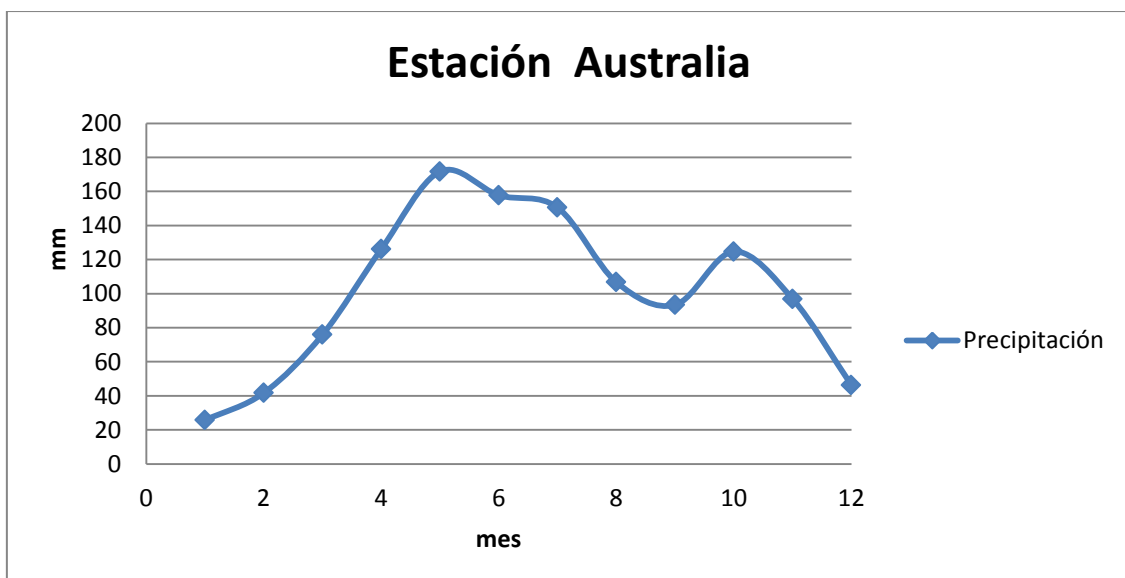
Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de abril con 100 mm y la más baja en el mes de enero con 24 mm.



Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 156 mm y la más baja en el mes de enero con 39 mm.



Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con dos picos predominantes. La precipitación máxima se presenta en el mes de octubre con 138 mm y la más baja en el mes de enero con 42 mm.



Se observa un comportamiento bimodal de la variable PMM con un pico mas predominante que el otro. La precipitación máxima se presenta en el mes de mayo con 170 mm y la más baja en el mes de enero con 21 mm.

ANEXO 3: PRECIPITACION MENSUAL (MM) CAPTURADA POR EL SATELITE TRMM.

Los Bases de datos que se muestrab a continuación fueron organizadas con la misma estructuctura de las bases de datos del IDEAM y CAR. Para poder hacer la respectiva comparacion tomando como referencia la ubicación de los pixeles

PIXEL 6												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	21,9106	52,7953	116,18744	179,5504	231,26041	145,15579	171,10818	119,98876	123,58752	160,10689	135,07632	113,08556
1999	85,175	147,12794	110,10405	160,32709	105,8257	151,89902	85,48374	91,83649	165,52869	180,35048	103,73915	108,76897
2000	44,68369	95,74376	130,65036	130,32547	170,97418	140,14929	134,6662	115,39146	164,60597	157,4409	108,92923	58,01039
2001	27,42619	44,74077	120,48735	75,31881	145,71959	109,68188	87,34315	76,38316	155,41637	123,76197	121,11317	95,64194
2002	16,81179	52,26311	141,89398	191,20363	179,39386	132,04057	95,59072	108,86131	104,12679	109,49417	94,52813	67,90582
2003	10,56743	52,08638	98,59641	158,54337	137,56842	129,98788	92,25538	122,32592	113,93992	171,77748	176,93839	71,47363
2004	27,95706	44,22635	83,58646	201,55597	248,76633	118,38989	121,07715	93,86612	118,55211	183,46147	144,41759	144,41759
2005	55,67493	72,86731	67,28781	148,79329	177,12845	96,89835	85,90986	103,50905	115,62428	194,7101	144,73639	70,10451
2006	106,5604	49,25643	161,0347	235,2285	166,17764	178,22362	95,84908	77,67017	89,33562	177,40373	182,18263	105,16177
2007	34,11901	33,21671	129,14415	169,62732	154,25081	114,39241	79,63426	134,93704	78,64352	227,03793	132,295	128,57976
2008	71,08686	62,5423	105,07583	146,02919	215,83484	151,67705	130,90695	135,54362	103,52904	166,40129	218,65256	68,90966
2009	76,06178	57,62493	124,7699	105,7164	87,60101	103,42394	76,85379	63,2752	35,69461	157,81573	61,72285	34,72449
2010	4,28263	32,94165	60,38062	176,96565	196,00415	140,59633	194,55243	104,11705	91,43681	194,19638	180,96808	151,14803
2011	47,49372	98,14206	121,60416	228,6243	228,6243	104,71822	142,92455	77,5428	105,15022	151,39276	233,51115	110,23769
2012	88,91961	44,65867	75,29989	219,29768	66,26511	55,41785	89,44109	45,32587	23,9333	130,11938	66,16341	67,53166
	47,91538	62,6822447	109,740207	168,473805	167,42632	124,843473	112,239769	98,038268	105,940318	165,69804	140,331603	93,0467647

PIXEL 10												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	92,62989	106,85626	195,14854	312,15735	241,26184	134,04572	165,96049	186,4072	213,85112	248,42006	228,1691	186,07439
1999	146,97128	253,5813	152,85965	301,29553	224,73743	220,88686	79,23737	135,98	251,22647	304,67792	177,61707	199,81778
2000	85,3064	170,93843	191,74263	201,6714	288,04813	207,01524	137,50168	110,66081	246,17545	251,17584	153,72926	117,40575
2001	97,87923	97,01978	203,25558	161,65149	247,52344	144,0751	107,28819	56,28923	226,50519	178,06558	240,48672	202,71283
2002	56,6437	90,22478	228,50244	371,11661	224,26212	183,47052	152,33498	101,73108	164,00128	259,65356	179,16306	189,39987
2003	50,97898	114,95259	149,72775	292,086	162,80463	178,1355	78,57346	128,34637	194,80414	250,87909	269,18045	127,65681
2004	75,75878	101,56387	137,52208	274,85162	318,51086	122,22975	168,42999	89,80415	199,83572	301,45123	275,84796	275,84796
2005	123,52156	138,84851	174,2289	221,11702	321,38599	136,09729	110,70868	98,83786	151,48538	377,1969	252,56219	160,84743
2006	165,24506	131,28403	279,96069	350,89111	317,65924	196,38089	78,82359	143,17258	134,80618	285,80396	264,90042	169,02094
2007	118,03388	29,67288	269,04175	345,92102	243,95776	127,90693	110,16248	171,85321	110,26894	356,25488	210,98355	149,20442
2008	141,74686	140,98871	184,02902	230,62628	330,66541	217,12671	173,68829	291,54315	171,3185	315,08603	416,22687	121,98001
2009	157,01906	138,24887	206,46368	197,09302	170,89101	141,44775	94,6702	92,66067	85,17535	258,61041	149,23317	93,75327
2010	36,79363	77,69849	117,38514	312,02844	268,84344	190,07552	236,61168	133,13757	186,01532	261,56839	295,38947	229,34329
2011	102,97359	171,58362	209,76846	372,43823	372,43823	179,15196	150,73999	107,62651	186,86771	266,42566	354,43564	180,84955
2012	118,02135	97,47298	167,13165	298,8454	156,39529	92,5208	108,73084	94,12158	83,84185	269,42203	149,28548	126,27809
	104,634883	124,06234	191,117864	282,919368	259,292321	164,704436	130,230794	129,478131	173,74524	278,979436	241,147361	168,679493

PIXEL 11												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	Diciembre
1998	32,58134	67,80434	138,04501	209,36075	248,13707	164,13939	189,19687	138,53616	143,54129	179,39896	160,23936	130,79143
1999	97,17144	169,06708	120,18825	203,48926	137,77428	179,01166	93,16378	107,68114	182,93954	215,30461	127,061	127,12079
2000	54,55278	111,63824	140,6946	145,32375	212,08131	157,66592	142,25351	123,90016	181,48933	179,07205	125,33105	75,05386
2001	37,31036	57,42582	135,78673	96,43217	174,78769	127,60016	101,2095	83,16226	172,2121	135,47256	147,41211	122,19254
2002	24,43819	57,48178	163,5968	235,6241	213,45181	157,28278	119,76495	117,03107	122,41357	147,90607	110,72862	89,64397
2003	18,01204	62,61061	115,14791	190,25514	150,65338	149,92401	102,07657	133,90111	138,90146	189,27771	196,82597	84,38213
2004	37,99691	62,4637	95,46083	221,79977	277,21994	145,84775	145,07814	103,4038	142,0163	208,76505	170,19623	170,19623
2005	65,93785	85,37231	90,69978	172,41241	221,08745	117,14525	103,97371	107,93687	129,66032	229,00026	173,66708	85,6693
2006	123,38753	57,71435	186,37419	256,65179	202,48215	192,59354	99,4382	91,3913	96,42851	195,52409	205,83661	114,89232
2007	47,59704	31,32408	155,23712	207,01944	177,63498	131,38803	93,56948	147,90492	89,93668	253,30093	149,03117	125,15219
2008	79,69055	76,60182	118,93295	163,02521	246,05774	177,65485	153,61491	159,09216	120,17879	189,9955	259,8656	87,57993
2009	91,43273	71,40547	136,07068	122,23167	106,19147	102,74818	76,96414	62,11613	33,9837	151,909	67,72886	32,81811
2010	3,93868	34,30344	64,85396	189,90495	195,47012	154,05733	187,68526	106,5869	94,13449	166,21472	175,77457	168,73323
2011	49,81179	117,30663	117,58253	216,93463	216,93463	120,00964	131,18155	75,96727	104,8407	168,57269	227,9507	96,68275
2012	101,25188	49,55627	87,85138	227,79312	77,30171	61,4417	108,44034	56,70695	33,17792	151,96982	64,62534	81,39265
	57,674074	74,138396	124,434848	190,550544	190,484382	142,567346	123,174061	107,68788	119,05698	184,112268	157,484951	106,153429

PIXEL 12												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	Diciembre
1998	19,87653	64,4411	130,88911	207,30894	272,40808	199,63348	223,315	143,83313	134,28702	173,07851	148,96269	113,19111
1999	81,9567	142,12004	109,87727	207,89453	138,2887	188,5894	111,85014	113,03317	179,93275	211,92874	122,79086	103,24464
2000	42,52325	91,92453	130,05536	138,83022	221,64597	161,17993	161,40247	146,4088	176,06888	178,11102	126,85808	70,27014
2001	23,07129	43,0532	114,68449	96,71269	180,76099	146,71082	116,45131	105,26045	177,2318	133,52219	133,76306	112,46656

2002	16,15054	41,66913	157,18201	215,42896	236,41824	176,07846	137,2056	141,62097	127,27576	138,42166	99,72461	71,94139
2003	9,10633	44,05812	109,56975	182,04204	167,52451	163,65633	122,79215	156,05914	147,05444	182,8647	190,71371	78,05141
2004	27,56268	59,70654	94,39507	222,6741	298,76947	183,07858	165,036	124,44826	147,00981	196,35001	150,79839	150,79839
2005	51,85125	81,09431	77,50327	183,37297	219,70729	133,38242	120,68527	125,21425	137,54857	208,3976	169,26431	66,86048
2006	126,77199	37,60379	175,66537	240,64394	202,2301	223,66803	124,59977	100,30722	95,09924	196,41829	210,99921	92,86815
2007	28,70242	31,51323	134,62531	190,93123	189,45474	160,51694	103,92471	159,5459	98,67354	234,43776	132,46056	115,47987
2008	59,19054	54,94605	89,59308	162,86948	250,99545	204,53918	177,34612	143,38235	128,98857	170,03226	227,48991	72,98016
2009	68,69804	55,2183	119,35754	114,74421	103,82933	130,55003	99,2453	83,62396	42,37167	152,85519	64,087	27,14387
2010	1,92183	31,1469	72,43797	195,6907	219,90239	180,75803	206,62839	129,46146	95,64594	210,07257	194,06595	150,56676
2011	32,03894	94,74731	98,81385	220,30466	220,30466	134,9214	153,33449	83,45769	124,33743	167,37564	207,39894	84,08298
2012	66,14172	41,02021	77,31182	213,245	75,4446	84,87434	124,30688	57,08569	25,06157	158,61693	65,37131	76,07138
	43,70427	60,9508507	112,797418	186,179578	199,845635	164,809158	143,20824	120,849496	122,439133	180,832205	149,649906	92,4011527

PIXEL 15												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	99,80014	100,42532	143,44495	203,52086	193,65472	81,00757	98,92833	110,50407	157,50873	200,05147	165,40079	152,24397
1999	102,47134	215,93051	116,72049	213,47836	138,54395	153,21007	48,54662	96,72006	165,41251	222,01501	167,64009	134,79825
2000	81,42378	147,95116	130,22993	125,09978	186,57571	130,96101	73,76567	66,64766	179,91864	171,42648	114,95528	92,16907
2001	61,94216	105,27797	171,02139	110,64996	166,99031	75,76107	70,60564	40,53567	121,76722	134,2373	162,56674	169,53877
2002	59,2471	80,82205	178,30139	298,64117	175,99414	111,94965	76,34634	60,2678	118,06766	175,93929	124,27928	137,64951
2003	40,30428	106,37771	138,92599	221,3446	85,34619	111,25288	57,80434	63,47739	130,07587	191,33862	172,85429	102,61929
2004	58,16479	97,63338	80,19194	192,51933	209,04144	84,79335	90,85768	47,01752	117,44235	217,5415	200,70735	200,70735
2005	94,10249	93,80914	116,35371	139,13277	276,05939	84,57323	63,00534	64,80827	101,14373	269,94632	194,24382	115,90267
2006	81,97231	87,99518	214,10587	246,12323	210,15604	116,71684	44,31255	55,68539	89,42325	172,69841	211,25247	137,52078
2007	100,85662	34,70787	199,23035	260,0206	173,30011	86,5107	81,16916	93,03761	60,27801	311,63007	161,61314	120,9849
2008	117,97801	117,89065	145,46687	151,20709	246,04257	131,38129	85,44829	180,36682	103,15816	228,74911	309,95609	79,38289

2009	116,11089	110,96385	181,15596	130,02148	116,81115	82,08447	60,83466	69,98167	40,57348	212,0076	148,5773	83,89689
2010	26,41422	70,31032	84,66887	242,90042	188,17238	134,89487	183,90158	78,0715	124,98241	209,92737	271,97089	220,34271
2011	76,3221	151,46661	206,76627	301,85809	301,85809	114,34064	92,82306	58,40307	124,3492	184,0184	297,78519	163,13434
2012	152,56445	89,39907	158,56924	217,0009	88,62663	40,30482	59,73982	51,43852	31,95203	206,64691	97,16425	100,49091
	84,6449787	107,397386	151,010215	203,567909	183,811521	102,649497	79,2059387	75,7975347	111,070217	207,211591	186,731131	134,092153

PIXEL 16												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	77,61167	100,43338	144,24689	216,2226	228,96771	124,18484	139,16275	126,83015	158,55795	200,15012	162,87943	140,54602
1999	92,61139	193,4718	111,76424	237,49173	156,97807	178,32556	71,07027	112,74695	173,4958	234,01898	170,15569	118,55487
2000	71,54297	129,99002	127,15885	127,88523	216,76755	144,59305	96,04507	93,36185	183,77386	183,80257	126,09784	93,46589
2001	48,39186	85,24866	153,34372	121,17121	185,84961	103,19788	94,533	66,6955	138,6183	139,81273	159,21344	165,2811
2002	47,04198	63,47043	179,19354	289,54724	210,69553	143,19167	103,34221	87,07922	132,26114	179,90776	119,47276	123,10129
2003	30,28146	85,02641	136,50542	226,45023	109,30195	135,91006	84,74834	89,55396	150,73322	192,41733	176,63419	99,10861
2004	48,85131	100,7079	85,33849	203,62161	246,24783	135,29465	120,48901	70,59416	136,47678	215,65671	190,60818	190,60818
2005	80,88421	93,5808	110,57339	166,3273	287,35565	113,80963	88,94735	84,17281	118,95463	263,20139	200,37053	98,80543
2006	93,37089	71,56705	208,59171	240,46295	231,99377	151,33824	68,56929	70,11318	92,02251	181,94751	216,67233	116,2724
2007	77,66037	33,4153	186,86934	254,38669	191,22723	116,34856	99,26367	113,4725	73,87331	294,27203	148,58667	111,08264
2008	93,53129	95,07767	125,01387	155,98483	265,56931	167,1544	111,64575	175,5471	121,0311	214,52504	281,84341	77,6878
2009	101,01639	94,01756	163,25307	124,67285	114,24574	107,14342	76,98422	71,10568	43,03649	176,29381	99,29734	58,18855
2010	18,97665	56,43037	81,28654	247,10294	197,99675	150,51849	210,07339	88,2394	119,81216	195,69283	235,31502	210,79913
2011	74,03441	123,1118	162,51907	259,79303	259,79303	118,10239	118,51805	68,85456	144,04364	167,45816	291,80286	147,5887
2012	87,94025	69,02344	134,94453	219,71439	81,1899	39,58162	80,29078	54,43869	34,00648	194,28154	80,39777	101,76414
	69,58314	92,971506	140,706845	206,055655	198,945309	128,579631	104,245543	91,5203807	121,379825	202,229234	177,289831	123,52365

PIXEL 17												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	25,79321	119,9648	192,33018	316,61966	367,31207	331,41446	353,56705	230,4346	202,9568	241,64713	219,07695	148,63831
1999	104,23706	167,22874	125,35417	373,45624	283,49612	307,38116	186,27284	206,2608	249,05974	345,76462	229,83163	129,77715
2000	59,05157	117,56204	148,44391	177,70891	395,10907	244,16324	228,26685	237,37422	258,53558	273,02185	197,63287	131,32092
2001	31,33472	51,9594	122,67642	190,59727	314,2478	254,56659	232,13397	180,62437	251,63928	188,11026	206,5043	197,94498
2002	31,11786	21,56523	217,80069	328,89783	365,1803	296,58435	263,96225	224,86574	218,01996	276,73502	146,04462	133,95758
2003	15,05845	40,66609	145,72472	289,8421	250,63916	254,30434	207,75874	242,07243	270,54504	242,18457	249,18353	115,01646
2004	48,37318	132,14674	145,20346	285,32684	425,27747	347,73608	299,7439	209,84129	276,49768	268,03537	210,638	210,638
2005	69,51262	129,23531	141,27649	302,07227	383,04736	258,63644	226,85529	173,83131	217,46106	300,17722	269,56375	100,8096
2006	177,29114	44,50565	231,65955	294,8446	369,28281	319,52814	185,79805	172,80122	134,74663	276,55692	291,44574	97,25092
2007	34,43869	30,15129	195,76355	304,35873	306,43951	257,73053	198,49191	241,54202	172,48645	303,53918	170,74879	114,57095
2008	57,65406	71,28181	94,4516	225,62279	375,15659	344,49506	298,08438	231,23062	232,2114	232,74963	312,55524	123,44479
2009	94,7224	79,5007	151,50821	149,03236	148,16606	177,22429	149,29482	118,58463	75,33389	188,84369	81,13295	27,46838
2010	0,33887	49,02007	96,8987	235,52979	253,33542	251,7984	241,52768	168,93159	128,31799	226,90985	197,35657	226,36743
2011	52,56116	112,43703	140,86411	269,17508	269,17508	174,46681	182,63361	123,7016	165,71658	182,54865	232,74008	109,76585
2012	60,91638	60,14197	121,54607	252,81743	115,77484	117,32915	181,01672	91,68404	56,28111	210,22778	69,69976	123,73464
	57,4934247	81,824458	151,433455	266,39346	308,109311	262,490603	229,027204	190,252032	193,987279	250,470116	205,610319	132,713731

PIXEL 20												
	enero	febrero	marzo	Abril	Mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	95,87462	99,06178	132,12688	170,70145	177,23871	57,45941	75,33635	86,41335	134,70979	182,94043	151,12527	144,48488
1999	96,64333	212,61151	111,53378	190,62672	107,98016	131,55197	34,09286	78,88832	145,32475	195,48355	174,01971	123,77763
2000	90,80588	145,43735	120,19931	107,88196	161,34534	109,92221	52,37085	52,17284	154,39458	143,91418	112,50558	84,06682
2001	50,14766	113,00392	158,52509	90,18336	138,24197	51,37119	52,57555	27,25715	93,5657	118,71794	144,13538	159,56587
2002	61,34221	72,15375	162,98155	283,19669	153,20219	89,82277	55,50084	41,24674	97,01669	154,00835	106,79927	119,01781

2003	37,03529	104,06061	143,70735	197,28317	62,61245	90,88949	44,00921	43,25626	103,40862	177,97902	140,64482	92,52429
2004	56,35262	96,46264	58,68495	166,7258	169,74438	58,32664	68,44989	29,66801	88,82568	189,48746	181,8909	181,8909
2005	86,83637	82,35841	102,14117	110,12099	252,31052	62,69704	48,08047	50,8638	82,82178	238,48302	179,18198	108,1123
2006	71,08484	76,5309	194,42828	216,77888	180,16675	91,94653	33,27027	33,04618	75,38216	140,20837	193,96065	137,73073
2007	96,02042	39,30949	181,9799	234,4122	153,11246	67,8513	71,8625	74,94563	43,41627	291,80569	151,44554	118,06773
2008	117,30196	115,07411	138,55003	128,50102	230,965	105,49968	64,57583	151,51773	81,4883	209,44232	290,33963	77,97393
2009	116,37231	104,11992	178,45657	105,77855	137,2977	69,60281	40,7072	52,15723	60,26611	183,17389	154,70261	80,75539
2010	22,79078	53,50235	64,32236	256,01135	149,46912	114,91106	145,46039	49,2888	105,3862	150,60797	235,75282	207,58827
2011	70,39886	148,97826	165,74023	243,95905	243,95905	80,1515	78,80946	61,87676	90,00879	168,75217	258,42889	154,68565
2012	102,35013	85,60954	135,55145	221,23853	80,19965	14,76453	44,23555	45,21853	28,66578	187,23849	105,68031	98,06052
	78,0904853	103,218303	136,59526	181,559981	159,856363	79,784542	60,6224813	58,5211553	92,31208	182,149523	172,040891	125,886848

PIXEL 21												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	90,76901	99,98643	132,02991	180,88965	192,69427	84,34653	97,22289	96,97882	135,21518	181,40546	147,76318	136,65985
1999	85,67712	194,47902	103,36176	204,31096	123,3972	144,96271	47,72518	88,44444	144,23586	202,32169	166,58749	108,1367
2000	77,26175	131,91235	114,81059	106,77665	173,69676	113,52377	64,86691	65,00012	153,59872	152,33426	110,66666	85,36017
2001	44,04674	101,43825	150,29683	100,41092	153,63992	71,08055	67,03407	44,18777	102,71038	118,79518	141,73193	160,36371
2002	54,33768	65,72746	165,73193	281,09369	178,2543	110,66343	73,33731	59,16664	107,04475	156,90637	105,14335	114,94022
2003	33,03337	92,94762	137,87875	203,35477	75,40887	103,93489	59,73159	57,87582	119,0401	172,85475	147,2964	91,58864
2004	48,92823	101,75487	65,62771	174,37978	194,91742	95,68161	86,50276	45,24521	100,95197	191,17554	177,21184	177,21184
2005	79,62418	81,85477	97,25649	129,85103	265,11615	81,60997	62,67856	61,05112	92,52513	235,05148	180,99826	95,12648
2006	74,26207	68,0947	194,09573	213,93234	190,53053	111,36472	46,48164	43,54238	73,81785	150,27788	197,28204	116,95726
2007	85,46597	35,90052	172,39629	232,39659	158,21526	87,08805	79,30613	82,09938	50,55928	283,87958	141,60931	105,3606
2008	101,52134	98,2795	122,63966	134,81909	231,51407	128,2453	77,50902	144,27139	91,37464	198,30057	268,46204	70,67465
2009	103,39775	92,17596	168,04311	108,33583	82,93552	82,3582	58,22924	56,44727	39,07974	156,15172	117,96906	70,04288

2010	19,30157	47,20886	66,65806	225,60959	151,7677	133,33395	169,76106	65,98921	92,56598	170,92668	239,95866	211,14304
2011	65,57838	123,46758	165,16943	238,9368	238,9368	93,23392	83,20306	48,67393	114,21609	155,03818	269,79816	126,05443
2012	80,40176	67,65711	125,54553	195,68385	62,5149	20,73866	53,42311	37,62737	21,71323	177,37587	86,04668	109,65971
	69,5737947	93,5256667	132,102785	182,052103	164,902645	97,4777507	75,1341687	66,440058	95,9099267	180,186347	166,568337	118,618679

PIXEL 22												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	Agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	70,57799	106,32179	143,09857	211,59814	242,51097	142,10023	153,06284	126,0685	147,51076	194,5296	157,04622	130,69058
1999	82,09121	178,46368	102,9223	250,5051	161,633	186,20409	78,88377	115,57066	164,80376	233,70926	178,21729	100,03397
2000	68,67432	120,33369	118,48483	119,68776	227,04001	140,38631	98,44611	101,39848	171,97165	179,43167	129,28479	94,65855
2001	36,39652	83,06088	139,40521	124,99381	190,51282	112,20676	103,86523	78,17403	133,58449	133,98282	150,0009	167,60847
2002	44,67699	52,00234	178,56525	287,62726	232,03523	157,85498	114,93294	97,91698	134,55032	180,44736	109,89736	111,05548
2003	26,56293	74,00002	139,37213	224,21796	111,44272	143,14763	96,14047	94,61223	157,9855	184,73297	165,98239	96,0183
2004	44,42752	112,36685	80,3708	199,13934	254,6835	164,58107	130,99461	78,33123	135,8998	203,38992	177,81296	177,81296
2005	69,97375	91,95699	102,82281	171,8551	299,76984	125,22896	100,13519	89,74336	121,34	246,47009	202,86203	91,1644
2006	100,58622	61,27103	205,21191	222,53421	234,59605	163,44257	78,91478	69,00637	86,77475	176,17427	225,32593	103,11671
2007	71,60963	37,20781	173,05305	248,86053	197,2821	137,84283	111,31856	113,13136	75,26506	282,56396	142,14705	102,53769
2008	81,53486	83,19841	107,04477	152,38315	266,13507	181,41736	118,97736	155,31174	125,54845	197,60764	262,12982	85,52985
2009	101,4908	86,10248	159,94458	126,92077	121,707	131,63702	91,64996	86,73405	51,32724	173,34872	98,67453	70,88529
2010	26,71698	65,05871	90,01889	244,03391	195,44315	177,19275	213,84857	101,26476	121,0375	206,52002	231,40709	237,67297
2011	76,71335	122,77943	153,55136	233,79361	233,79361	137,73711	132,90034	75,76147	155,75943	158,44989	273,78476	148,64687
2012	100,57733	74,61429	125,94418	207,34172	86,95757	42,94466	84,53555	56,72504	28,28577	197,90747	74,00604	135,15202
	66,8406933	89,9158933	134,654043	201,699491	203,702843	142,928289	113,907085	95,9833507	120,776299	196,617711	171,905277	123,505607

PIXEL 26												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	84,50137	98,56976	128,509	159,70105	175,03479	56,25683	72,72552	78,77765	119,06219	173,30634	148,60175	142,31337
1999	90,7693	205,37793	108,36623	186,91214	101,79721	127,60819	32,87081	70,19978	135,45761	190,78177	174,54459	114,47379
2000	89,8031	141,82715	118,17493	107,40182	154,62682	99,52288	47,07262	49,93922	134,52664	135,37238	109,28849	80,76141
2001	42,50344	108,4274	149,37427	83,40387	130,77399	49,81007	50,93169	27,09111	86,3196	112,27171	140,86166	158,50327
2002	59,25663	64,33521	161,68198	271,82761	154,21936	92,47295	52,28344	40,09017	89,77239	147,13252	99,76401	108,04076
2003	32,87957	96,28146	152,3614	185,9157	57,20417	87,65163	42,53336	36,78739	98,21313	171,06082	132,24823	88,8136
2004	32,87957	96,28146	152,3614	185,9157	57,20417	87,65163	42,53336	36,78739	98,21313	171,06082	132,24823	88,8136
2005	32,87957	96,28146	152,3614	185,9157	57,20417	87,65163	42,53336	36,78739	98,21313	171,06082	132,24823	88,8136
2006	74,10567	66,91699	197,19412	211,93375	157,9035	90,42844	34,57749	27,75183	69,32889	133,10614	197,17084	132,66246
2007	84,9167	41,35576	166,92995	222,15239	150,95248	73,35867	71,08695	65,92194	37,81195	283,68875	147,52948	115,61192
2008	105,64671	108,23807	131,15329	132,30658	217,86713	102,46558	61,75755	131,1142	77,62204	199,76132	287,01364	73,13254
2009	115,91049	94,59447	177,92511	109,8652	148,83237	88,60706	38,44274	70,53282	54,28484	145,15871	153,25319	78,7627
2010	23,66625	51,10152	55,20967	286,44934	149,69327	126,15167	170,42902	39,57876	98,26381	146,15865	219,42752	215,41818
2011	59,82989	129,60028	176,24397	258,02374	258,02374	82,59543	94,16811	52,91648	88,37955	149,83269	265,789	185,5358
2012	100,62902	69,85356	138,02625	234,32651	107,77627	18,7409	44,93393	29,60194	26,5744	198,14426	107,98975	129,97339
	68,6784853	97,9361653	144,391531	188,13674	138,607563	84,7315707	59,92533	52,9252047	87,4695533	168,526513	163,198574	120,108693

PIXEL 27												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	80,02599	101,08846	127,94359	172,58673	194,1257	86,03736	98,55631	93,60223	122,79564	174,52795	147,25035	133,80934
1999	80,02063	188,30316	101,46563	204,3858	121,74072	143,57568	48,40722	82,60921	137,33635	201,66214	169,51404	99,64501
2000	76,98375	128,52635	112,43427	109,55524	173,9416	107,1927	63,09191	65,22425	136,0865	146,25296	112,16059	83,49256
2001	36,09319	95,77464	143,02483	97,06868	152,03473	72,78073	68,1059	45,93417	99,15594	115,57743	140,47574	160,59506
2002	52,27975	58,67749	165,48648	275,35559	187,56639	117,48958	74,62013	59,42346	102,04765	152,84891	99,24637	103,79057

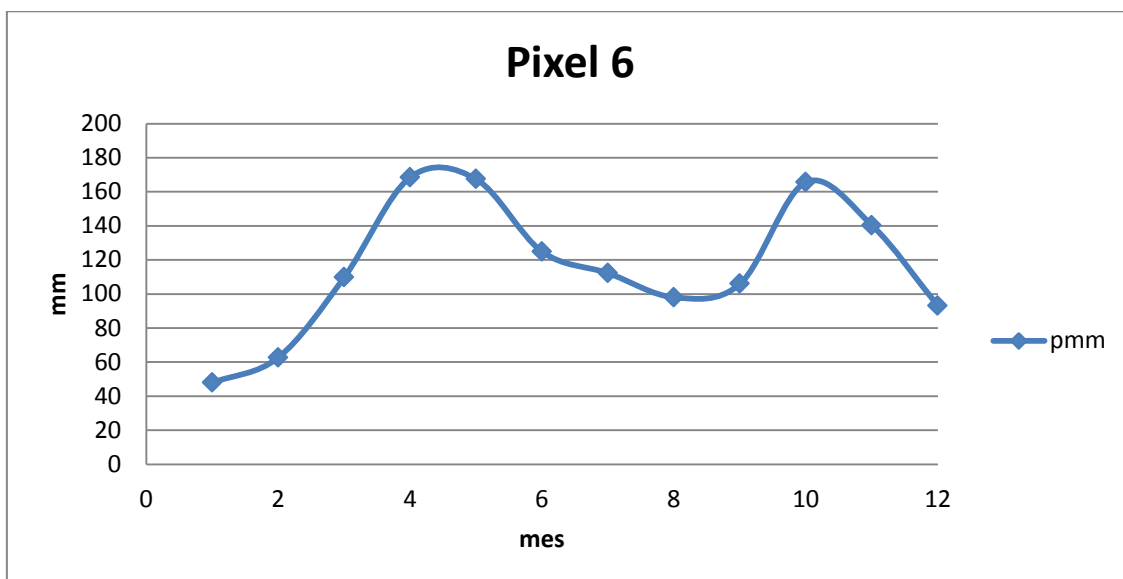
2003	29,20695	84,03537	147,70775	196,47287	72,51645	106,9901	60,463	54,12937	117,81975	169,53543	141,37823	89,43948
2004	47,10699	106,12312	58,92949	175,36847	191,9523	105,56526	87,99809	44,68178	95,2709	186,5047	177,18536	177,18536
2005	72,71465	80,39967	91,11237	130,73483	264,62579	81,5204	64,41347	62,80108	87,21216	224,15776	179,16861	88,12112
2006	73,16534	60,91398	198,1729	208,08643	175,85641	115,01443	51,15976	41,84622	70,8175	146,09352	203,45868	110,52823
2007	73,54661	37,08443	163,77896	220,42542	157,87453	96,12163	80,90813	77,32729	47,37695	277,2298	133,76605	98,68645
2008	88,58884	92,03488	112,30943	137,08156	230,06558	129,46452	77,3045	125,53067	88,83405	186,21924	261,90814	72,41173
2009	98,02373	84,28589	158,11131	119,64356	91,55899	90,45682	56,42648	63,33447	34,66451	125,49823	110,1356	55,2889
2010	19,39828	48,62933	72,71662	258,90158	158,81189	146,15515	175,22461	60,90336	92,53787	159,8093	222,2303	220,76193
2011	55,11238	128,74248	165,32996	246,61684	246,61684	93,52094	90,82147	50,71222	112,35967	154,13213	257,04437	146,49715
2012	86,84877	63,60345	131,20041	204,51547	66,24105	23,6832	51,56054	36,74839	21,30198	178,78928	81,97137	131,03726
	64,6077233	90,54818	129,9816	183,786605	165,701931	101,0379	76,6041013	64,3205447	91,0411613	173,255919	162,459587	118,08601

PIXEL 28												
	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1998	63,47011	110,35342	144,0746	212,13629	249,51617	148,10721	158,63661	129,5569	141,82375	193,85875	158,85698	128,46158
1999	76,98273	174,63434	101,96239	260,83615	165,96582	190,38287	81,34769	112,64676	164,12946	236,85852	182,40979	92,40646
2000	65,05316	116,8958	115,93737	129,10449	238,05849	139,0159	100,08293	104,8112	159,52843	178,9971	133,12628	95,29404
2001	28,54627	76,73465	134,91446	128,69315	197,95639	118,87491	108,55831	81,54425	137,00941	135,55768	154,42841	172,1322
2002	41,55653	43,8812	184,53473	290,60297	251,40953	172,70703	122,1235	101,09713	134,90463	185,36403	108,15746	102,72218
2003	21,76031	66,25035	150,15274	225,96182	114,13731	153,02286	99,16621	93,882	163,30962	185,9566	163,74715	97,70598
2004	40,11273	119,40163	77,3764	204,15402	262,6951	181,32782	137,33534	80,2298	134,38914	202,94882	182,73297	182,73297
2005	63,69559	91,16203	100,38608	180,23947	311,00323	130,64432	104,94725	93,61443	118,26799	241,487	206,31734	80,13489
2006	92,72868	48,29716	210,53325	222,62546	227,36261	168,23488	84,91991	71,70161	86,8845	178,00803	233,82916	94,50803
2007	54,09148	33,37186	170,64883	247,94797	202,14035	152,5452	113,01958	112,53186	75,49182	269,01703	132,46718	93,63678
2008	66,16142	71,58209	92,97369	157,27158	269,45007	191,05951	122,14886	143,83221	126,78783	192,22995	256,70566	71,35503
2009	86,91158	71,30521	148,16129	131,07109	119,71051	127,08406	92,52748	97,90427	53,33898	138,4259	82,23961	38,21376

2010	11,79142	57,40854	98,16779	271,24301	189,27597	199,06845	221,01208	98,27139	111,30756	181,09952	227,61481	239,1911
2011	52,6568	109,91075	144,56355	228,28558	228,28558	143,95222	144,32024	71,39051	158,17329	148,06389	229,71783	128,13007
2012	65,89066	55,71057	111,63751	206,1156	98,26508	52,14893	94,10031	52,40531	26,67345	192,43002	68,44136	132,57547
	55,427298	83,12664	132,401645	206,419243	208,348814	151,211745	118,949753	96,3613087	119,467991	190,686856	168,052799	116,613369

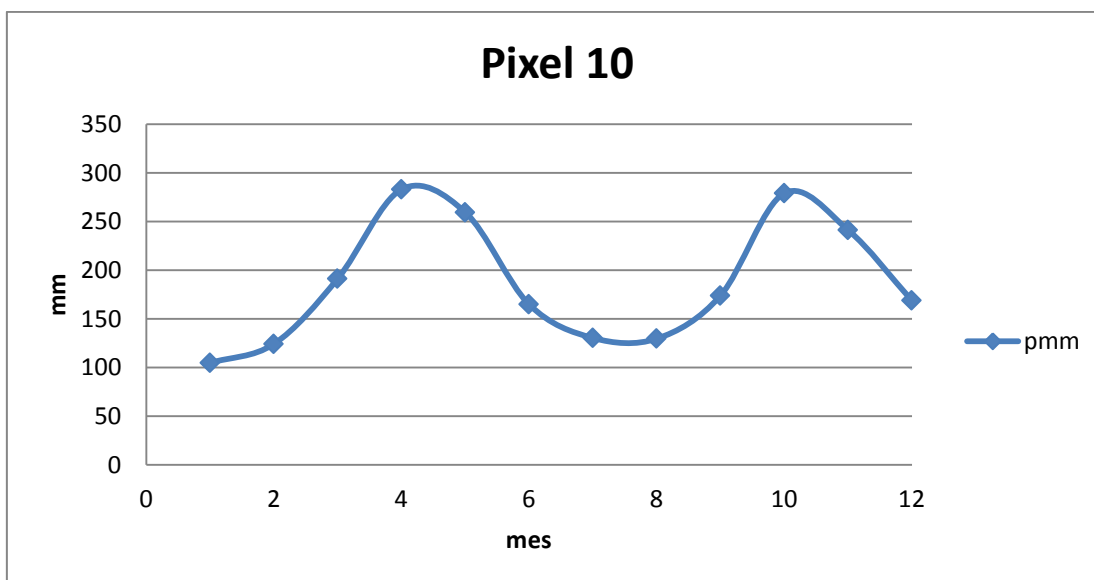
ANEXO 4: COMPORTAMIENTO DE LA PMM DEL SATELITE TRMM

Histograma Pixel 6



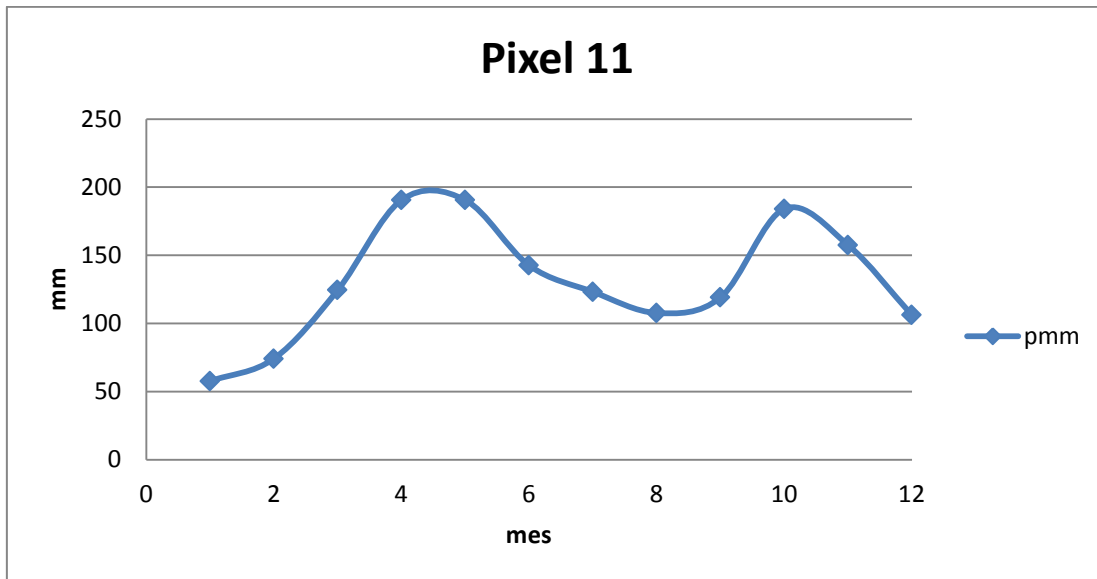
La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generando un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 180mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 42 mm.

Histograma pixel 10



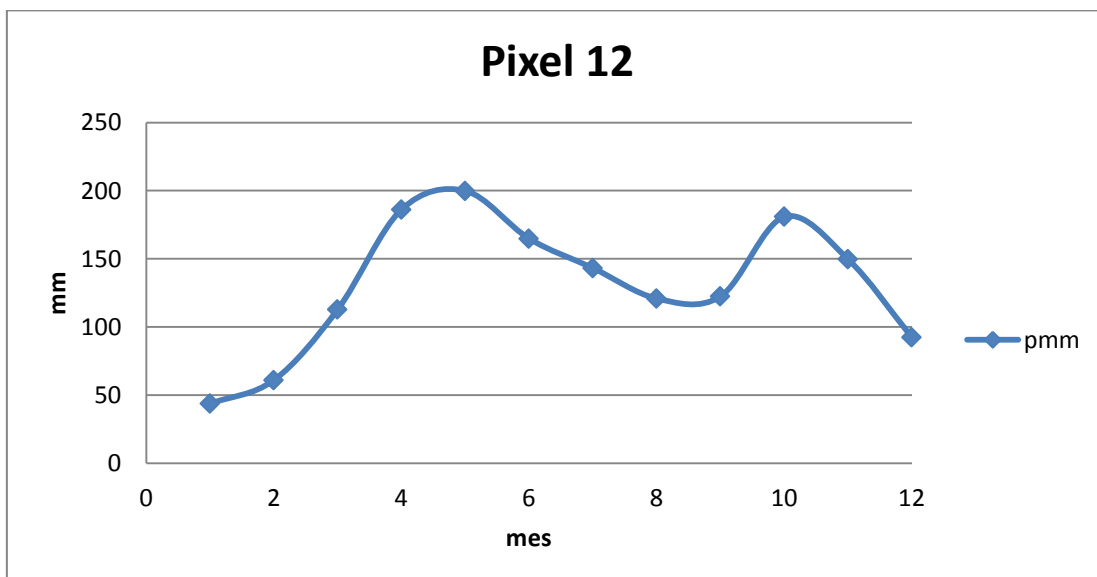
PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generando un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 300 mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 100 mm.

Histograma pixel 11



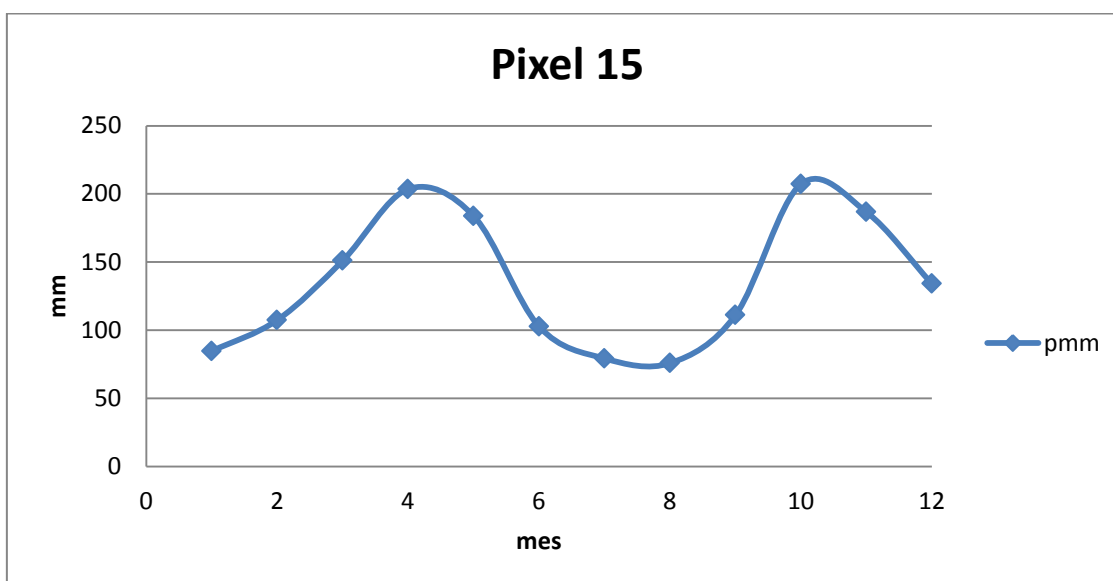
La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generando un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 200 mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 100 mm.

Histograma pixel 12



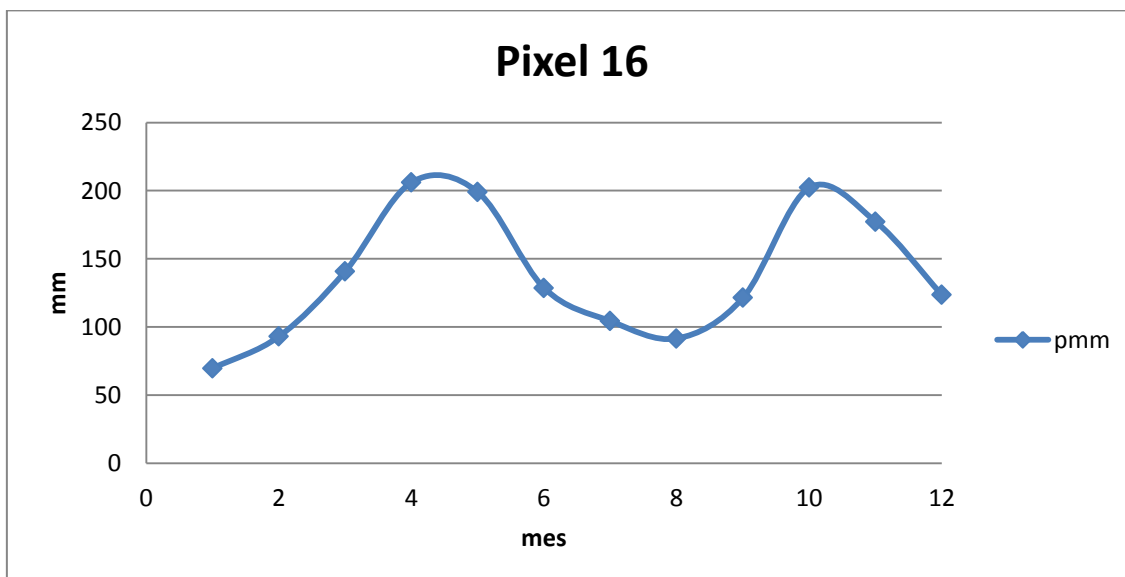
La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generando un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de mayo con 200mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 48 mm.

Histograma pixel 15



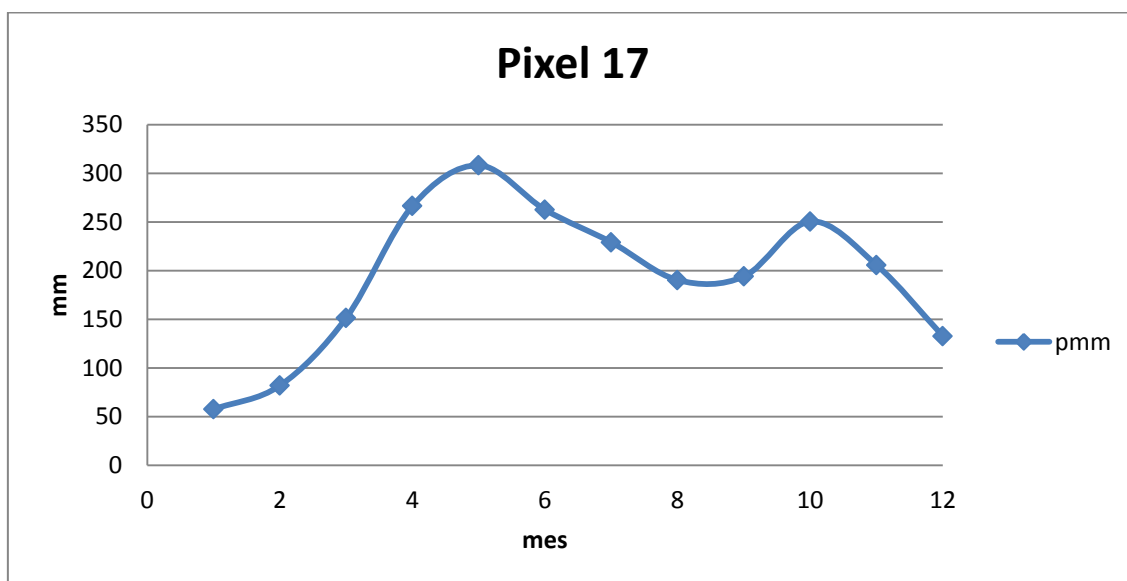
La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 200mm y la mínima precipitación en el mes de agosto con 65 mm.

Histograma pixel 16



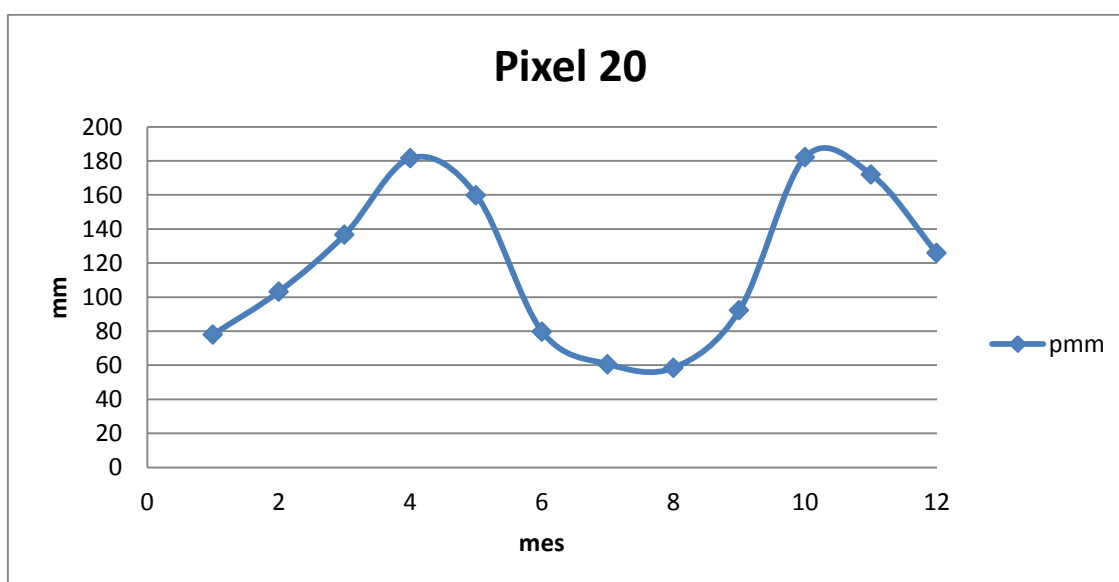
La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 210mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 68 mm.

Histograma pixel 17



La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de mayo con 300 mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 53 mm.

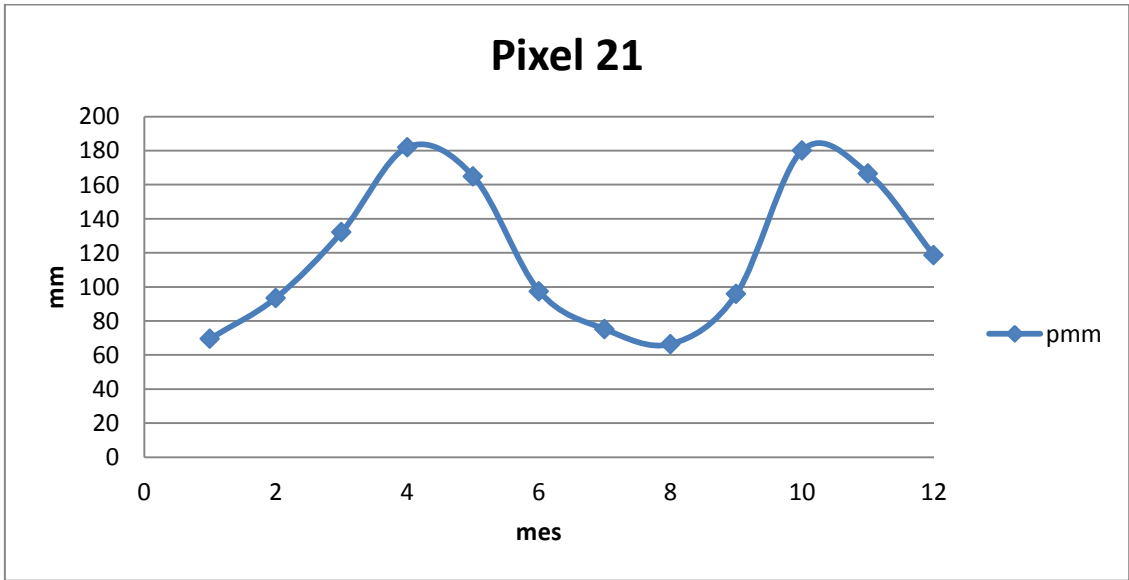
Histograma pixel 20



La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 180 mm y la mínima precipitación en el mes de agosto con 55 mm.

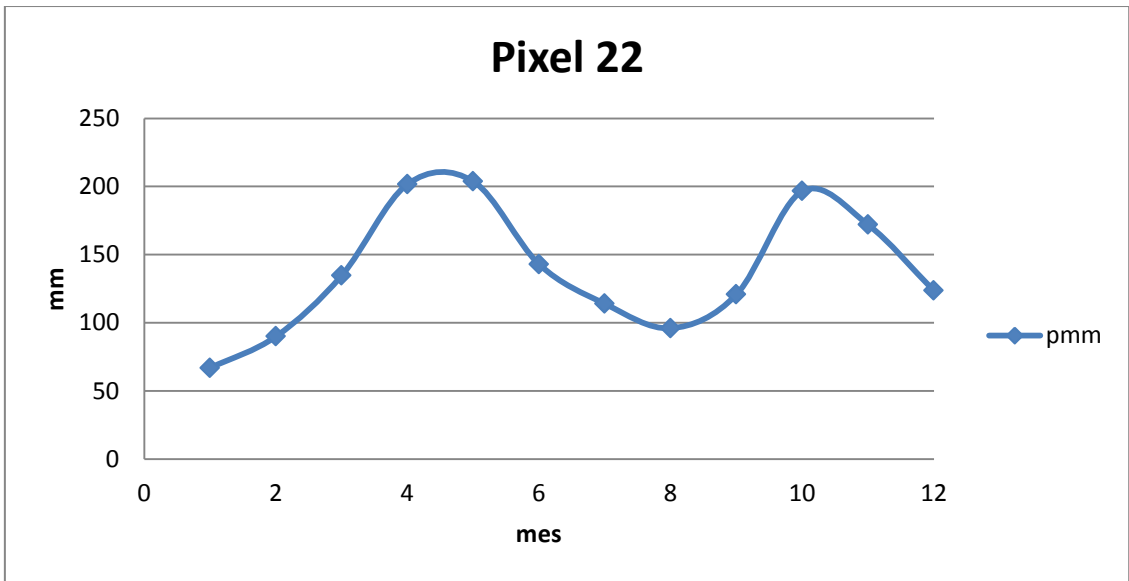
encuentra en el mes de mayo con 183 mm y la mínima precipitación en el mes de agosto con 58 mm.

Histograma pixel 21



La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 182 mm y la mínima precipitación en el mes de agosto con 66 mm.

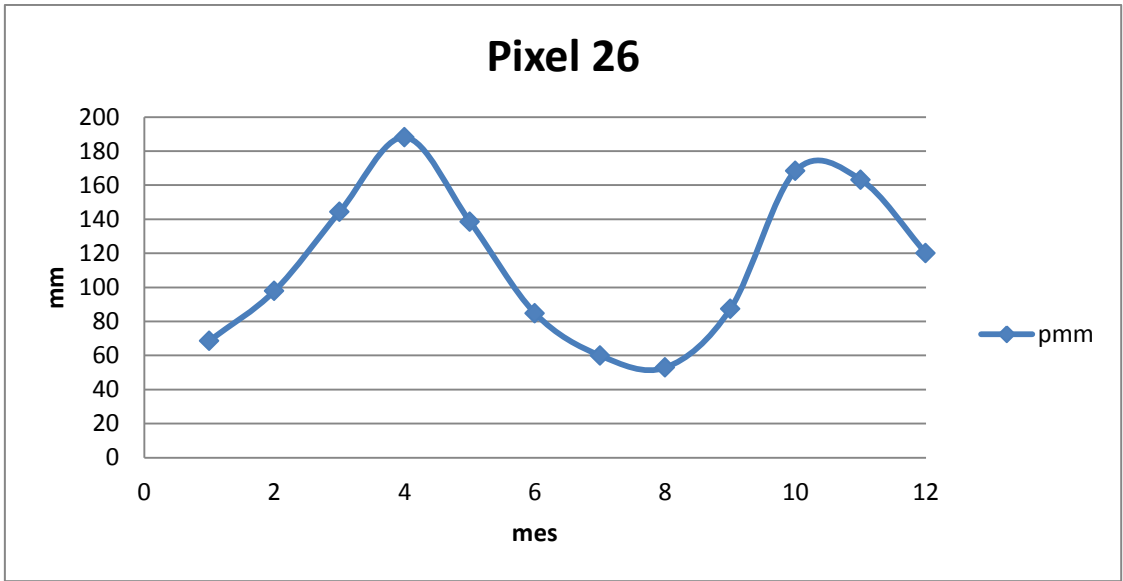
Histograma pixel 22



La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de abril con 200 mm y la mínima precipitación en el mes de agosto con 95 mm.

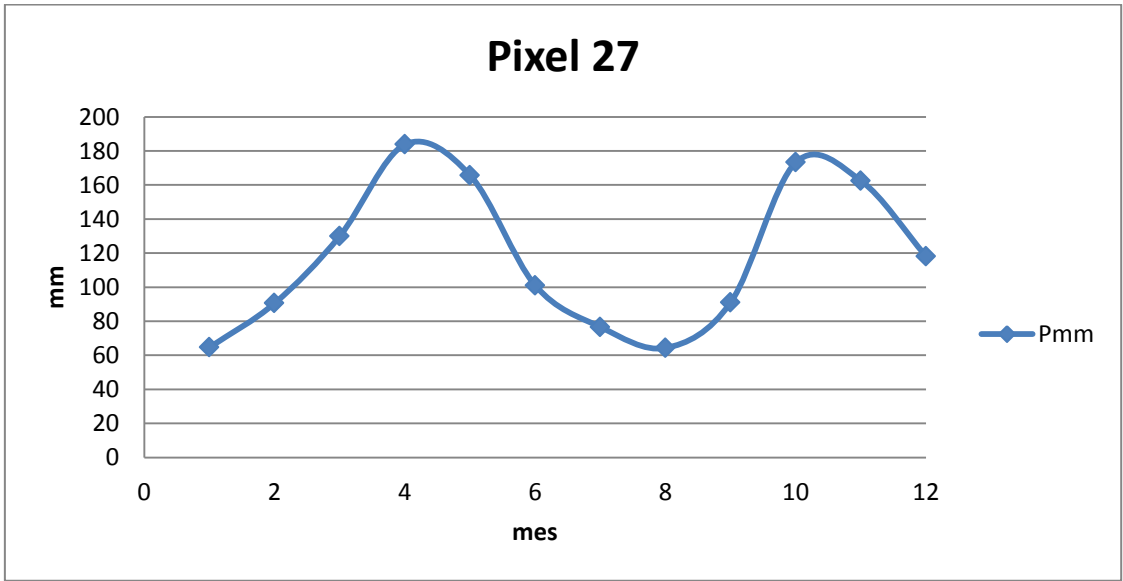
encuentra en el mes de mayo con 203 mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 67 mm.

Histograma pixel 26



La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de mayo con 188 mm y la mínima precipitación en el mes de agosto con 53 mm.

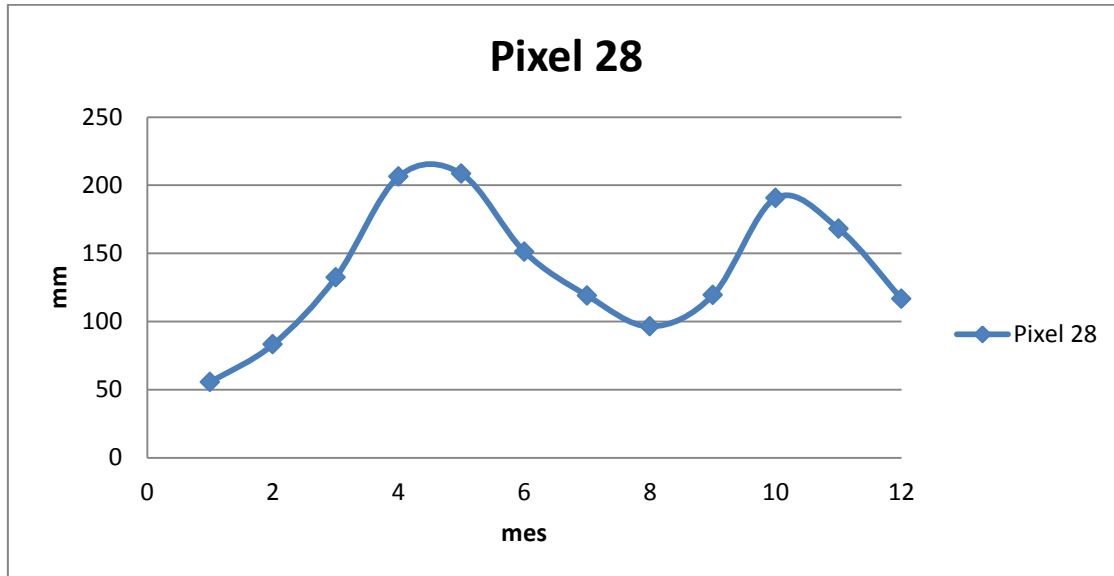
Histograma pixel 27



La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se

encuentra en el mes de mayo con 184 mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 65 mm.

Histograma pixel 28



La PMM tiene una forma simétrica con dos picos máximos de lluvia generándose un comportamiento bimodal, la precipitación máxima se encuentra en el mes de mayo con 208 mm y la mínima precipitación en el mes de enero con 55 mm.

El comportamiento de la PMM en general para los pixeles que delimitan la cuenca del río Bogotá tiene el mismo comportamiento de la precipitación en Colombia, siendo bimodal y simétrica. Registrando mayores cantidades de precipitación en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre.