

## **APOYO A LA CDMB EN EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA RED HIDROCLIMATOLÓGICA Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN, EN ESTACIONES LOCALIZADAS EN LAS MICROCUENCAS RIO DE ORO MEDIO Y RIO DE ORO BAJO**

**ANDRÉS DAVID ANGARITA PEÑA**

Estudiante de Ingeniería Civil  
Universidad Industrial de Santander  
andres.angarita@correo.uis.edu.co

### **RESUMEN**

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB, es la entidad pública encargada de realizar los procesos de análisis, seguimiento y gestión del conocimiento ambiental y de recursos naturales renovables. Para poder cumplir con sus funciones hace la implementación de una red hidroclimatológica a lo largo de toda su jurisdicción, utilizando estaciones climatológicas e hidrométricas con las cuales posibilita el registro y procesamiento de información.

Apoyando las funciones de la CDMB por medio de la subdirección SOPIT, se generó el procesamiento y análisis de datos registrados por las estaciones ubicadas en las microcuencas Río de Oro Medio y Bajo. Durante este proceso se determinó el porcentaje de datos faltantes de cada estación climatológica activa e inactiva en la zona de estudio. Se examinó la consistencia del registro de las estaciones que reportaran datos de precipitación y tuviesen más de 10 años de información por medio de un análisis de doble masa. Verificando la calidad de la información luego se determinaron periodos de estudio para cada estación los cuales garantizaran un análisis de las variables climatológicas más confiables. Se examinó la intensidad de la lluvia y el comportamiento anual de la precipitación de cada microcuenca. En la zona de estudio se identificaron los puntos de monitoreo hidrométrico, debido a la falta de información en las microcuencas Río de Oro Medio y Río de Oro Bajo, se estableció una curva de calibración que relacionara el nivel medio y el caudal del año 2016 en la estación automática de nivel El Rasgón ubicada en la microcuenca Río de Oro Alto.

**PALABRAS CLAVE:** Red Hidroclimatológica, Análisis de Doble Masa, Curva de Calibración, Aforo, Caudal, Microcuenca.

### **ABSTRACT**

The Regional Autonomous Corporation for the Defense of Bucaramanga's Plateau, CDMB, is the public entity in charge of carrying out the processes of analysis, monitoring and management of environmental knowledge and renewable natural resources. In order to fulfill its functions, it implements a hydro-climatological network throughout its jurisdiction, using climatic and hydrometric stations, which enables the recording and processing of information.

Supporting the functions of the CDMB through the subdivision SOPIT, the processing and analysis of the data recorded by the stations located in the micro basins Río de Oro Medio and Río de Oro Bajo were generated. During this process, the percentage of missing data for each active and inactive climatological station in the area studied was determined. The consistency of the stations that reported precipitation data and had more than 10 years of information was examined through a double mass analysis. After verifying the quality of the information, the study periods were determined for each station, which ensured an analysis of the most reliable climatological variables. Rainfall intensity and annual precipitation trends were examined for each micro basin. In the studied area, a record of the monitoring points was made, due to the lack of information in the Río de Oro Medio and Río de Oro Bajo micro-basins, a calibration curve was established that related the average level and the flow of the year 2016 in the El Rasgón automatic level station located in the Río de Oro Alto micro basin.

**KEYWORDS:** Hydro-climatological Network, Double Mass Analysis, Calibration Curve, Gauge, Flow, Micro basin.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso de gran importancia para el ser humano y su ambiente, es clave para la climatización del planeta y el desarrollo de la civilización [1]. Por lo tanto, el estudio del recurso ayuda a generar un registro histórico con el cual se pueden calcular cambios drásticos en su comportamiento. Estas predicciones son necesarias para crear medidas de prevención que ayuden a mitigar los daños que se puedan causar.

Para poder registrar los datos hidroclimáticos se utilizan estaciones climatológicas, hidrométricas y puntos de monitoreo; los cuales al estar ubicados en una misma región de estudio generan un sistema denominado red hidroclimática.

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), es encargada de realizar procesos de análisis, seguimiento y gestión del conocimiento ambiental y de recursos naturales renovables. La zona de jurisdicción de la CDMB abarca un área total de 4,520 km<sup>2</sup> y altitudes entre los 35 a los 3940 m.s.n.m., está compuesta por 13 municipios, Rionegro, El Playón, Surata, Vetas, California, Matanza, Charta, Tona, Bucaramanga, Girón, Lebrija y Piedecuesta [2].

En el siguiente artículo se da evidencia del soporte generado a la CDMB en el procesamiento de información climatológica e hidrométrica, haciendo énfasis en las microcuencas de Rio de Oro Medio y Rio de Oro Bajo.

Durante el proceso de apoyo se determinó el porcentaje de datos faltantes para cada estación climatológica buscando observar la continuidad de registro de las estaciones; se llenaron los datos de precipitación faltantes para las estaciones con más de 10 años de datos registrados y se examinó la consistencia de la información de precipitación generando un análisis de doble masa, utilizando como estaciones base las estaciones del IDEAM en la zona de estudio.

Para el análisis hidrométrico se registraron los puntos de monitoreo ubicados en la zona y se examinó la estación automática de nivel el Rasgón, con la cual se observó el comportamiento del nivel medio diario y se buscó generar una curva de calibración que relacionara el nivel medio

reportado con el caudal de la corriente del Rio de Oro en esa sección.

## 2. RED HIDROCLIMATOLÓGICA DE LA ZONA EN ESTUDIO

Las microcuencas en estudio Rio de Oro Medio y Rio de Oro Bajo están ubicadas en la subcuenca Rio de Oro, la cual se localiza dentro de la cuenca del Rio Lebrija y hace parte de la zona hidrográfica del Magdalena Medio.

La subcuenca Rio de Oro posee una extensión de 569.42 km<sup>2</sup> y administrativamente hacen parte de ella 4 municipios: Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. En ella se encuentra más del 40% de la población del departamento y es el área de mayor oferta de recursos y servicios ambientales para el Área Metropolitana de Bucaramanga [3].

Las microcuencas Rio de Oro Bajo y Rio de Oro Medio abarcan un área de 88.73 km<sup>2</sup> y 168.53 km<sup>2</sup>, respectivamente. Se encuentran ubicadas en el centro sur y sur del área de jurisdicción de la CDMB. La microcuenca Rio de Oro Bajo limita hacia el noroccidente con la subcuenca Rio Lebrija Alto, al nororiente con la subcuenca Rio Surata, al Suroriente con la microcuenca Rio Frio y al sur con la microcuenca Rio de Oro Medio. La microcuenca Rio de Oro Medio limita al norte con las microcuencas Rio de Oro Bajo y Rio Frio, al oriente con las microcuencas Rio Lato y Rio de Oro Alto, al occidente con la subcuenca Rio Lebrija Alto y al sur con la subcuenca del Rio Sogamoso.

Las dos microcuencas tienen como afluente principal el rio de oro, el cual se monitorea junto con la quebrada La Ruitoca, ubicada en Rio de Oro Medio y las quebradas, La Iglesia, El Macho, El Carrasco, Chimitá, Cuyamita, Argelia, Navas, Chapinero y la Picha, todas ubicadas en la microcuenca Rio de Oro Bajo [4]. En esta zona se presentan relieves ligeramente ondulados a relieves quebrados con alturas que van desde los 550 m.s.n.m. La zona tiene una humedad relativa promedio de 80% y temperaturas promedios de 25°C.

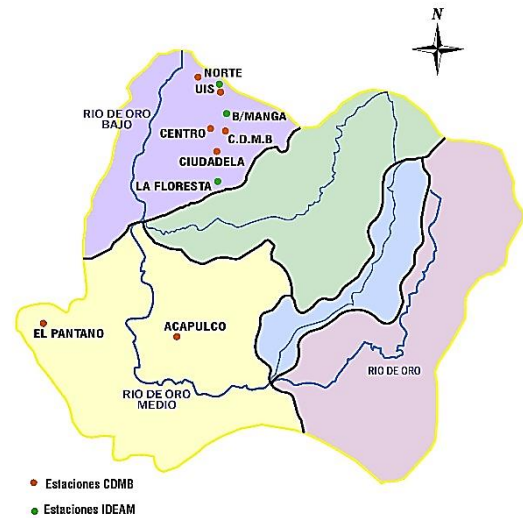
### 2.1 Estaciones Climatológicas

Las estaciones Climatológicas Automáticas utilizadas en la CDMB son de tipo Davis Vantage Pro2 Plus. Estos son equipos integrados lo cual quiere decir que en una sola estación existen varios

sensores registrando información de distintas variables climatológicas. Las estaciones utilizan un transmisor alimentado por energía solar el cual tiene una serie de baterías de respaldo para poder garantizar la continua transmisión de información entre el ISS y la consola, ambos componentes de la estación se explican con detalle en el Anexo 1. El rango de transmisión de la estación tiene un radio de 300 metros. La estación tiene la capacidad de almacenar 2560 registros de datos, teniendo en cuenta que los registros que se almacenan en la estación son horarios para todas las variables, eso quiere decir que hay un plazo de aproximadamente 106 días para descargar la información de la consola antes de que el equipo comience a generar datos incompletos en el registro [5].

La microcuenca Rio de Oro Medio posee dos estaciones climatológicas automáticas, Acapulco y El Pantano. En la microcuenca Rio de Oro Bajo hay una estación climatológica automática activa, Ciudadela; una estación pluviográfica inactiva, denominada C.D.M.B, y cuatro estaciones climatológicas automáticas en estado inactivo, Centro, Norte, Ciudadela Ant y UIS. En la Figura 1. se muestran las estaciones de la CDMB y del IDEAM utilizadas en el estudio.

En la Tabla 1. se muestra la información general de las estaciones climatológicas activas e inactivas.



**Figura 1.** Subcuenca Rio de Oro  
**Fuente:** CDMB - SOPIT

### 2.2 Estaciones Hidrométricas

Las estaciones hidrométricas tienen como objetivo la captura de los datos necesarios para calcular el volumen de agua que circula por la sección de la corriente en un determinado tiempo. En la CDMB existen dos clases de estaciones hidrométricas, las estaciones limnimétricas y las estaciones automáticas de nivel.

**Tabla 1.** Estaciones Climatológicas en la zona de estudio

LISTADO ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS								
CÓDIGO	ENTIDAD	NOMBRE	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COTA	AÑO DE INSTAL.	AÑO ULTIMO DATO	MICRO CUENCA
			COORD. NORTE	COORD. OESTE				
C20	CDMB	ACAPULCO CA*	6° 59' 50" N	73° 8' 50" W	1001	10/08/13	ACTIVA	Oro Medio
C6	CDMB	EL PANTANO CA*	7° 0' 19" N	73° 13' 31" W	1290	06/01/11	ACTIVA	Oro Medio
C21	CDMB	CIUDADELA CA*	7° 6' 20" N	73° 7' 25" W	938	12/11/13	ACTIVA	Oro Bajo
C23	CDMB	CENTRO CA*	7° 7' 9" N	73° 7' 37" W	955	01/01/01	31/07/15	Oro Bajo
C24	CDMB	NORTE CA*	7° 8' 56" N	73° 8' 4" W	790	20/08/09	30/06/15	Oro Bajo
NA	CDMB	CIUDADELA ANT CA*	7° 6' 21" N	73° 7' 25" W	938	12/07/10	31/12/12	Oro Bajo
NA	CDMB	UIS CA*	7° 8' 27" N	73° 7' 19" W	986	01/02/02	03/08/07	Oro Bajo
NA	CDMB	C.D.M.B PG*	7° 7' 7" N	73° 7' 9" W	950	01/01/79	11/12/06	Oro Bajo
23190830	IDEAM	BUCARAMANGA PM*	7° 7' 41" N	73° 7' 5" W	1025	15/10/96	ACTIVA	Oro Bajo
23195040	IDEAM	UIS CP*	7° 8' 40" N	73° 7' 19" W	1018	15/01/57	ACTIVA	Oro Bajo
23190590	IDEAM	LA FLORESTA PG*	7° 5' 25" N	73° 7' 26" W	925	15/06/78	ACTIVA	Oro Bajo

CA\*: Climatológica Automática CP\*: Climatológica Principal PG\*: Pluviográfica PM\*: Pluviómetrica

Las estaciones limnimétricas consisten en una regla graduada de un metro de longitud, denominada limnómetro o mira.

El limnómetro se ubica a un lado de la sección del río o afluente en un punto donde el observador sea capaz de tener una lectura directa de la mira para poder calcular el nivel medio del afluente.

Se debe realizar la lectura dos veces en el día a horas fijas acordadas por los protocolos internacionales, con lo cual se espera observar los cambios de altura del cuerpo de agua en ese determinado punto de control [6].



**Figura 2.** Estación Limnimétrica

**Fuente:** Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

Las estaciones limnimétricas ubicadas en Río de Oro Medio y Río de Oro Bajo están siendo actualmente utilizadas para toma de muestras de calidad de agua, ya que no se encuentran observadores activos en el momento que hagan lecturas diarias de nivel. Como consecuencia se decidió continuar con el estudio de la estación automática de nivel, El Rasgón. Esta estación se ubica en la microcuenca Río de Oro Alto y el estudio se realizó para el periodo de tiempo de agosto a noviembre del 2016.

**Tabla 2.** Estación Automática de Nivel en estado activo, El Rasgón

Nombre	Coord. Norte	Coord. Este	Cota (m)	Año Inicio
El Rasgón	7.039739 N	72.9999 W	2141	2012

La estación automática de nivel cumple con la misma función que la estación limnimétrica con la diferencia de que esta no requiere de un observador, esto se debe a que la estación automática determina el nivel medio del afluente calculando la diferencia de presiones entre sus dos sensores, el Diver y el Baro Diver. Estos sensores se encuentran dentro de un tubo de acero

(limnimétrico) el cual los protege y garantiza una buena medición. El Diver está sumergido en el agua y se encarga de medir la presión y la temperatura, tiene la capacidad de almacenar 24000 datos. El Baro Diver toma también datos de temperatura y presión, pero este se encuentra suspendido por fuera del agua cerca a la parte superior del tubo limnimétrico, tiene la misma capacidad de almacenamiento. En la CDMB se toman medidas de nivel en la estación cada 5 minutos por lo cual se debe descargar la información de la estación aproximadamente cada 2 meses y medio [7].



**Figura 3.** Estación Automática de Nivel

**Fuente:** Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

### 3. METODOLOGÍA

En el siguiente punto se explica la metodología utilizada con la cual se logró procesar la información de las estaciones hidrometeorológicas, en las microcuencas Río de Oro Medio y Río de Oro Bajo. Los datos obtenidos fueron procesados de las siguientes maneras.

Para las estaciones climatológicas, se realizaron inspecciones de campo, identificación y llenado de datos faltantes, y análisis de consistencia del registro de datos, realizado con un mayor enfoque en la variable de precipitación.

Con la información hidrométrica se utilizó la información de aforos tanto directos como indirectos para poder determinar el comportamiento de los afluentes en las microcuencas.

### 3.1 Procesamiento de Datos

La CDMB determina los siguientes pasos para la administración de las redes de monitoreo. Estos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Visita de inspección y descargue de información: Los datos almacenados en la consola se descargan al portátil de la corporación, y a su vez se hace la inspección de los sensores de la estación.
- Depuración de Datos: Se observa el comportamiento de las variables analizadas y se determina si la estación está reportando el dato horario para cada variable.
- Cargue de Datos al sistema: Utilizando el formato adecuado se cargan los datos al aplicativo SIC, Sistema de Información Corporativo.
- Análisis de Datos: Se hace un informe semestral de los parámetros analizados.

En base al proceso planteado por la CDMB, en el apoyo realizado, primero se hizo un soporte en la inspección de campo para el funcionamiento de las estaciones, se verificó que estuviesen activas, se observó si el entorno afectaba los registros de datos y se constató que los sensores estuviesen en buen estado. Luego se descargaron los datos a la computadora de la corporación para ser analizados, verificados y subidos al SIC.

### 3.2 Identificación de datos faltantes

La captura de los datos idealmente debe ser continua, sin ninguna interrupción, pero si se genera una falla, el equipo puede dejar de capturar datos en ciertos periodos de tiempo.

Al determinar la calidad de los datos se debe tener en cuenta que exista suficiente información en las estaciones para poder hacer un análisis objetivo de cada variable climatológica en la zona de estudio. Por ende las estaciones climatológicas requieren de un mantenimiento continuo y un grupo especializado que colabore en su funcionamiento, pero debido a la ubicación y la susceptibilidad de los equipos hay siempre una posibilidad que se generen pérdidas de información. Las fallas más comunes que se reportan en las estaciones climatológicas automáticas son explicadas con detalle en el documento: Apoyar las actividades desarrolladas por la CDMB para el funcionamiento de la red hidro-climatológica y procesamiento de la información, en estaciones localizadas en la sub-cuenca del río Surata [8].

Durante la depuración de la información se establece el número “-999” como indicador de los datos que hagan falta. Por medio del programa Microsoft Excel, se hace un conteo teniendo en cuenta únicamente los datos con un valor menor a cero y además se determina el número ideal de registros que se debió obtener de la estación. Utilizando la información se determina el porcentaje de datos disponibles por cada año de funcionamiento de la estación y finalmente se determina el porcentaje de datos faltantes durante todo el periodo de actividad de la estación. Para calcular el porcentaje de datos faltantes se utilizó la siguiente formula:

$$DF: \left(1 - \frac{DT-SR}{DT}\right) * 100 \quad (1)$$

En la cual DF es el porcentaje de datos faltantes en una estación, DT es el número de datos que idealmente se deberían obtener de la estación y SR es el número de datos sin registro o datos faltantes identificados con el código -999.

### 3.3 Llenado de datos faltantes

Para poder completar los datos mensuales de precipitación se determinó utilizar el método de correlación. La correlación es el grado de relación que existe entre dos variables aleatorias cuantitativas. Para poder representar la relación en un sentido matemático se debe generar una regresión [9]. El método compara el comportamiento de la precipitación entre la estación de estudio y estaciones confiables cercanas, para establecer si hay una relación con una correlación igual o mayor a 0.7 con la cual se llenan los datos faltantes. Para poder utilizar el método se debe tener en cuenta que existan menos del 25% de datos mensuales faltantes en la estación de estudio, ya que si este porcentaje es mayor los datos recuperados según el IDEAM tendrán baja representatividad temporal [10]. Se determina cuáles son los meses que tienen datos faltantes en uno o más años, buscando generar una relación entre los datos mensuales de la estación en estudio y la estación base para cada mes que tenga datos faltantes. La regresión que se genera tendrá los datos de la estación estudio en función de la estación base. Para poder calcular el dato faltante se debe utilizar el dato de la estación base del año faltante en la regresión. La ecuación obtenida debe seguir la siguiente estructura:

$$y = f(x) \quad (2)$$

En la cual (y) es el dato mensual faltante de la estación en estudio en un año determinado, (x) es el dato mensual de la estación base para el mismo año y la función que se genera es la regresión



obtenida de la relación entre los dos grupos de datos.

### 3.4 Consistencia del Registro de Datos

El análisis de consistencia se utiliza para determinar la confiabilidad de la información reportada por las estaciones climatológicas, por medio de este análisis se puede establecer si existen anomalías en la información y si éstas son causadas por intervención humana en la estación o a causa de fenómenos naturales irregulares. El método utilizado en la práctica para el estudio de la información es el análisis de doble masa.

#### 3.4.1 Análisis de Doble Masa

El método considera que en una zona meteorológica homogénea los valores de precipitación tomados en distintos puntos de la zona en periodos anuales o estacionarios deben conservar una relación de proporcionalidad que se pueden expresar por medio de una gráfica. Para generar la gráfica de doble masa se debe establecer la estación de estudio, a la cual se le calcula la precipitación anual acumulada por cada año que estuvo en funcionamiento. Luego se determina la estación o estaciones base, las cuales tengan registros anuales confiables durante el mismo periodo que la estación en estudio. En nuestro caso las estaciones confiables serán las estaciones cercanas del IDEAM. En un sistema de ejes ortogonales se grafica en la ordenada la precipitación anual acumulada de la estación base y en la abscisa se grafica la precipitación anual acumulada de la estación en estudio. Para que la estación que se está analizando cumpla con la homogeneidad meteorológica y se determine que no han ocurrido variaciones, se debe generar una recta de única pendiente la cual indique la relación de proporcionalidad, de lo contrario si se observaran distintas pendientes se determina que una parte de la serie contiene valores erróneos, por lo cual se le deberá calcular un factor de corrección a partir del año en que cambia la pendiente [11]. En la práctica se decidió generar este análisis únicamente para las estaciones en las cuales hubiese más de 10 años de información sobre la precipitación, ya que entre más puntos se generen en la gráfica habrá una mayor confiabilidad en el método. Por lo cual el análisis de consistencia solo se estableció en las estaciones Centro y C.D.M.B, ya que las estaciones que actualmente están activas no tienen los suficientes años para generar una gráfica de doble masa confiable.

### 3.5 Selección de la variable a analizar

La CDMB estudia nueve variables climatológicas: temperatura, humedad relativa, dirección de viento, velocidad de viento, presión atmosférica, precipitación, radiación solar, índice de calor e índice UV. A estas variables se les realizó la respectiva depuración de información, organización y subida al aplicativo. El informe se enfoca en la variable precipitación ya que ésta se ha registrado durante largos periodos de tiempo en distintas estaciones con una buena continuidad temporal y hay información del IDEAM disponible para revisar la consistencia del registro de datos.

#### 3.5.1 Precipitación

Para analizar la variable de precipitación y su comportamiento se optó por utilizar distintos esquemas:

- Precipitación mensual: En la zona de estudio se calculó la precipitación mensual acumulada para todo el periodo de actividad de las estaciones.

- Precipitación mensual multianual: Es el promedio de las precipitaciones mensuales de todos los años registrados para cada mes [12]. Al calcular la precipitación mensual multianual es deseable tener un número de años suficientes para tener un valor promedio que represente el comportamiento de la precipitación en la zona. En la microcuenca Río de Oro Bajo se obtiene el valor promedio representativo con las estaciones Centro y C.D.M.B. Para la microcuenca Río de Oro Medio no hay estaciones que tengan un registro con más de 6 años, lo cual no es suficiente para obtener un valor promedio representativo, por lo tanto se observa el comportamiento de la precipitación mensual multianual en las estaciones El Pantano y Acapulco con los años que hayan registrado.

- Intensidad de precipitación: Se define como la tasa temporal de precipitación. Por lo tanto, es el volumen de agua que es registrado por una unidad de tiempo, por lo general utilizando mm/h. Se expresa como  $i = P / T_d$ , en donde P es la profundidad de lluvia en milímetros y  $T_d$  es el tiempo en horas. En las estaciones automáticas climatológicas activas se clasificó la intensidad de las precipitaciones teniendo como referencia la información presentada en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Umbrales de Intensidad de Lluvia

INTENSIDAD	[mm/h]
Débil	entre 0.1 a 2.0
Moderada	entre 2.1 a 15.0
Fuerte	entre 15.1 a 30.0
Muy Fuerte	entre 30.1 a 60.0
Torrencial	mayor a 60

**Fuente:** Agencia Estatal de Meteorología – AEMET

### 3.6 Procedimiento para el análisis de los datos hidrométricos

Para realizar el procesamiento de los datos hidrométricos fue necesario buscar en el aplicativo SIC (Sistema de Información Corporativo), todos los datos de observación limnimétrica y aforos directos que se hayan generado en las estaciones hidrométricas de las microcuencas Rio de Oro Medio y Bajo. Teniendo en cuenta la falta de información disponible para la zona de estudio se decidió hacer el análisis de la información registrada por la estación automática de nivel ubicada en la microcuenca Rio de Oro Alto. Utilizando los datos de nivel y los caudales obtenidos con el aforamiento directo se realizó un estudio del comportamiento del nivel del afluente en ese punto, además se buscó generar una curva de calibración para finalmente formar una gráfica donde se observe el comportamiento del caudal durante el periodo de agosto a noviembre del año 2016.

#### 3.6.1 Curva de calibración

La curva de calibración es una relación que existe entre el nivel de la lámina de agua y el caudal que pasa por una sección determinada del cauce. Las unidades utilizadas generalmente son metros [m] para el nivel y metros cúbicos sobre segundo [m<sup>3</sup>/s] para el caudal. La curva de calibración debe generarse continuamente para poder observar los cambios que puedan surgir en la relación altura del nivel y el caudal [13].

Durante la práctica se buscó generar una curva de calibración para el periodo del año 2016 utilizando la información de los caudales calculados en el punto de monitoreo El Rasgón en donde se ubica la estación automática de nivel. Para determinar la relación existente entre el caudal y el nivel se utilizó el método logarítmico indicado por el IDEAM en el documento: Métodos para elaborar curvas de calibración en cauces aluviales [14]. Según el método se debe ajustar los datos a una curva que cumpla con la siguiente ecuación:

$$Q = C(H - H_o)^n \quad (3)$$

En donde (Q) es el caudal en metros cúbicos por segundo para el nivel (H), (H<sub>o</sub>) es el nivel de la mira cuando el caudal es cero y (C) y (n) son constantes de la fórmula por determinar. Utilizando la fórmula anterior y los niveles promedios diarios determinados por la estación automática de nivel, se busca calcular los caudales diarios de la estación El Rasgón. Además se examina la posibilidad de calcular los caudales máximos instantáneos mensuales determinando los niveles máximos registrados por la estación durante el periodo de análisis.

## 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos siguiendo la metodología del capítulo anterior, en donde se evidenciará la identificación y llenado de datos faltantes, la consistencia del registro de datos que se evaluó por medio del análisis de doble masa y se analizarán los resultados generados en las estaciones climatológicas para la variable precipitación y el estudio hidrométrico establecido en la estación automática de nivel El Rasgón.

### 4.1 Análisis de Datos Faltantes

En la Tabla 4 y la Tabla 5, se encuentra el porcentaje de datos horarios faltantes de las variables climatológicas reportadas por la CDMB para las estaciones activas Acapulco, El Pantano y Ciudadela y las estaciones inactivas Centro, Norte, UIS y Ciudadela Ant.

**Tabla 4.** Datos Faltantes Estaciones Activas

PERIODO DE ESTUDIO	Estación Acapulco 2013 2016	Estación El Pantano 2011 2016	Estación Ciudadela 2013 2016
Temperatura	8,8%	9,4%	14,9%
Humedad relativa	8,8%	9,2%	14,9%
Dir. Viento	30,5%	7,6%	14,5%
Velc-Viento	8,8%	9,2%	14,5%
Índice de Calor	8,8%	9,4%	14,9%
Presión	8,8%	9,2%	14,5%
Precipitación	8,8%	9,4%	14,5%
Rad Solar	8,8%	9,4%	14,9%
Índice UV	8,8%	9,4%	14,9%

**Tabla 5.** Datos Faltantes Estaciones Inactivas

PERIODO DE REGISTRO	Estación Centro 2001 2015	Estación Norte 2009 2015	Estación UIS 2002 2007	Estación Ciudadela Ant 2010 2012
Temperatura	7,4%	5,9%	8,6%	1,9%
Humedad Relativa	9%	5,9%	8,6%	14,8%
Dir. Viento	8,3%	6,4%	17,4%	14,8%
Velc Viento	7,8%	5,9%	17,4%	14,9%
Presión	9,2%	5,9%	10%	14,9%
Precipitación	10,6%	5,9%	8,1%	14,9%
Rad Solar	9,5%	5,9%	8,6%	14,9%

En la estación Acapulco la variable Dirección de Viento presenta una anomalía ya que su porcentaje de datos faltantes es mucho mayor a lo reportado por las demás variables, esto se debe a un error en el programa de depuración. En general las estaciones tienen menos de 25% de datos faltantes.

Para analizar los datos de la variable precipitación de manera mensual, se calculó el porcentaje de datos mensuales faltantes para cada estación, utilizando los protocolos establecidos por la Organización Mundial Meteorológica y la Guía para Practicas Climatológicas. En la Tabla 6 se observa los resultados.

**Tabla 6.** Datos Faltantes de Lluvia Mensual

ESTACIÓN	AÑOS REGISTRADOS	DATOS FALTANTES [%]
Acapulco	2013 – 2016	19,5
El Pantano	2011 – 2016	15,3
Ciudadela	2013 – 2016	27,1
Centro	2001 – 2015	16,7
Norte	2009 – 2015	26,2
UIS	2002 – 2007	30,6
Ciudadela Ant	2010 – 2012	16,7
C.D.M.B.	1979 – 2006	2,0

En la estación Centro los datos de los años 2013 a 2015 muestran rangos extremos e irregulares. Por lo tanto, se determinó que este periodo no sería tomado en cuenta para el estudio de la precipitación. Además, en el año 2001 de la estación Centro el porcentaje de datos faltantes es de 83,3% por lo cual tampoco se utilizará para el análisis de la precipitación. En la estación Ciudadela, Norte y UIS se observa que el porcentaje general de datos faltantes excede el 25% por lo cual no hay confianza en la continuidad temporal de la variable precipitación.

La estación C.D.M.B es una estación pluviográfica por lo cual solo reporta datos de precipitación. Durante su periodo de funcionamiento desde 1979 hasta el 2006 se reportó un 2% de datos faltantes. El año con mayor porcentaje de datos faltantes

resulto en el 2004 con 15%. Su último año en funcionamiento registró un 12% debido a periodos faltantes de información en los meses de enero, abril y diciembre.

En el Anexo 2 se muestra el porcentaje de datos faltantes mensuales de precipitación de manera anual para cada estación.

#### 4.2 Llenado de Datos Faltantes

Los datos faltantes que se completaron son de precipitación mensual. Para el llenado de datos se estableció un mínimo de 10 años en los que se pudiese observar una relación consistente entre la estación de estudio y la estación de referencia. Por lo tanto, solo se recuperaron datos en las estaciones C.D.M.B. y Centro utilizando como referencia las estaciones Bucaramanga IDEAM y La Floresta IDEAM.

En la Tabla 7, se muestran los datos obtenidos por el método de correlación para la estación C.D.M.B y la estación Centro. Los coeficientes de correlación entre los datos de las estaciones de la CDMB y datos de las estaciones del IDEAM se encuentran en el Anexo 3.

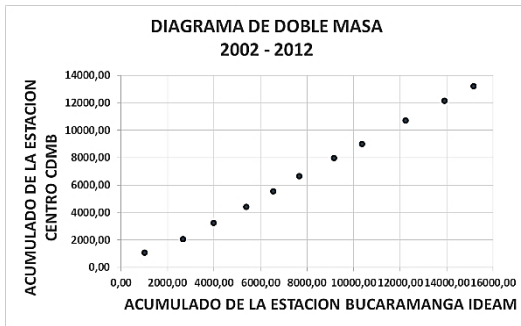
**Tabla 7.** Datos de precipitación completados para la Estación CDMB y Estación Centro.

Estación CDMB		Estación Centro	
Fecha:	Precipitación [mm]	Fecha:	Precipitación [mm]
oct-85	97,3	mar-10	9,6
feb-04	63,6	abr-05	124,9
oct-04	138,8	ago-06	70,7
nov-04	158,1		
ene-05	82,4		
mar-05	47,4		
ene-06	86,1		
abr-06	158,1		
dic-06	57,1		

#### 4.3 Análisis de Doble Masa

El análisis de doble masa se determinó para las estaciones que tuviesen 10 años de información sobre la precipitación para que los resultados mostrados en la gráfica fuesen confiables. Por lo tanto se generó el análisis en las estaciones Centro y C.D.M.B. La estación Centro tiene un equipo pluviométrico con 11 años de información y la C.D.M.B es una estación pluviográfica con 28 años de información. Teniendo en cuenta que ambas estaciones se localizan en la microcuenca de Río de Oro Bajo se buscó en la base de datos del IDEAM las estaciones más próximas, por lo cual se determinó utilizar las estaciones Bucaramanga IDEAM y UIS IDEAM.

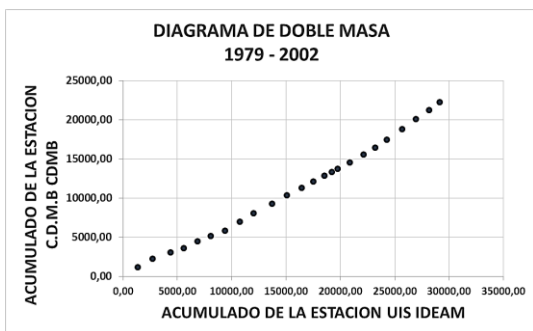




**Figura 4.** Grafica de Doble Masa Estación Centro y Estación Bucaramanga IDEAM

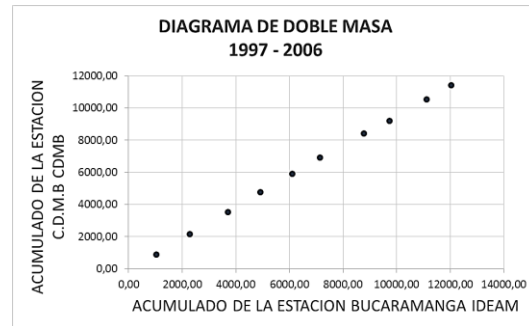
En la estación Centro se generó la gráfica de doble masa con la estación Bucaramanga IDEAM, esto se debe a que ambas estaciones tienen datos de precipitación durante el periodo 2002 a 2012. En la gráfica se observa que el diagrama de doble masa genera una relación lineal entre los datos de ambas estaciones por lo cual se determina que los datos generados y analizados por la estación Centro tienen homogeneidad respecto a los datos generados por la estación de referencia en la misma región de estudio durante el periodo de 2002 a 2012.

Debido a que no se encontró una estación que almacene datos de precipitación durante los 28 años de funcionamiento de la estación C.D.M.B, se determinó utilizar dos estaciones próximas a esta. La estación UIS IDEAM, fue utilizada para comparar el periodo 1979 a 2002 y la estación Bucaramanga IDEAM fue utilizada para comparar el periodo 1997 a 2006.



**Figura 5.** Grafica de Doble Masa Estación CDMB y Estación UIS IDEAM

En el análisis de doble masa entre las estaciones C.D.M.B y UIS IDEAM se logra una proporción aproximadamente lineal en la primera parte de la serie de datos, pero se observa una leve desviación de la pendiente en los últimos años del periodo en estudio.



**Figura 6.** Grafica de Doble Masa Estación CDMB y Estación Bucaramanga IDEAM

El análisis de doble masa entre la estación C.D.M.B y la estación Bucaramanga IDEAM demuestra una relación lineal entre las dos estaciones con una sola pendiente.

Teniendo en cuenta los resultados de las gráficas de doble masa, se establece que tanto la estación C.D.M.B como la estación Centro cumplen con el análisis de consistencia de los datos de precipitación, teniendo como referencia la estación Bucaramanga IDEAM durante sus periodos de análisis.

#### 4.4 Análisis de Precipitación

A continuación se presentarán los resultados obtenidos en el análisis de los datos de precipitación para las estaciones climatológicas automáticas y la estación pluviográfica.

**Precipitación Mensual:** De Tabla 8 a la Tabla 15 se muestra la precipitación acumulada mensual que se obtuvo de los datos registrados por las estaciones climatológicas automáticas y la estación pluviográfica. Debido al número de datos mensuales faltantes en la mayoría de estaciones se determinó calcular la precipitación anual solo en las estaciones Centro y C.D.M.B.



**Tabla 8.** Precipitación Mensual [mm] Estación El Pantano

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2011	DF	61,00	60,60	145,00	166,20	150,60	105,80	95,60	66,40	242,20	130,00	44,80
2012	60,60	38,20	127,40	74,20	21,40	48,00	47,80	101,60	39,60	139,00	31,80	66,60
2013	5,40	100,40	58,00	48,40	98,00	86,00	50,60	DF	34,60	58,60	109,80	32,40
2014	7,80	27,40	50,00	55,80	30,20	35,40	71,80	78,60	94,40	200,80	DF	DF
2015	DF	DF	119,40	29,00	80,80	30,40	54,40	85,60	60,40	28,80	63,60	DF
2016	DF	59,20	101,80	123,00	77,80	56,60	65,60	83,40	25,40	DF	DF	DF

DF : Dato Faltante

**Tabla 9.** Precipitación Mensual [mm] Estación Acapulco

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	59,40	82,80	126,00	13,60
2014	24,00	DF	DF	57,40	48,40	29,80	77,40	149,60	79,40	193,80	DF	DF
2015	24,80	44,60	115,20	38,80	117,40	17,00	89,40	122,80	42,40	55,80	78,20	DF
2016	DF	40,40	128,60	89,00	72,20	38,60	DF	71,20	29,20	96,00	109,40	DF

DF : Dato Faltante

**Tabla 10.** Precipitación Mensual [mm] Estación Ciudadela

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	49,27	126,65	53,53	19,29	197,29	43,64	DF	DF	DF	DF	DF	8,09
2014	20,31	102,83	107,66	85,79	68,24	118,86	87,33	107,65	89,87	DF	153,60	21,30
2015	DF	0,50	DF	DF	DF	27,67	18,50	96,20	0,51	0,00	263,13	2,00
2016	30,20	45,20	DF	DF	131,20	69,89	138,14	65,96	64,96	83,47	150,84	DF

DF : Dato Faltante

**Tabla 11.** Precipitación Mensual y Anual [mm] Estación Centro

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Precip Anual
2002	75,00	79,50	98,50	177,50	109,00	157,50	73,00	49,00	62,00	78,50	89,00	23,50	1072,00
2003	0,00	135,80	154,50	108,70	52,70	64,00	66,80	43,00	111,60	153,70	84,90	38,70	1014,40
2004	74,50	54,00	91,00	63,00	169,50	47,50	86,50	61,00	60,50	168,50	164,00	115,00	1155,00
2005	55,00	296,00	10,50	124,93	107,50	39,50	61,50	58,00	186,00	106,50	147,00	129,00	1321,43
2006	64,50	67,00	202,50	133,50	113,00	105,50	68,50	70,70	56,50	205,00	75,00	41,50	1203,20
2007	60,00	63,00	162,50	84,50	98,00	121,50	100,50	85,00	111,50	115,50	51,50	28,50	1082,00
2008	99,50	239,00	171,00	148,00	163,00	41,00	50,50	94,00	98,00	104,00	131,00	9,00	1348,00
2009	201,00	28,00	195,00	81,50	79,50	106,50	56,00	113,50	4,50	110,00	37,00	4,50	1017,00
2010	174,50	67,00	9,58	60,50	118,50	135,50	188,00	148,50	280,00	212,50	124,50	190,00	1709,08
2011	29,70	99,70	70,50	164,10	160,70	99,40	76,30	167,40	65,50	329,40	63,10	125,20	1451,00
2012	96,60	45,10	73,50	145,50	50,80	132,40	63,00	110,70	58,20	116,90	42,20	128,10	1063,00

**Tabla 12.** Precipitación Mensual [mm] Estación Norte

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2009	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	14,30	146,80	131,20	19,90
2010	32,00	48,90	8,90	49,70	189,20	143,00	DF	99,50	208,10	37,20	183,40	212,30
2011	69,80	91,60	67,30	140,40	113,40	78,80	70,50	110,40	63,20	287,90	74,90	114,30
2012	45,70	47,50	94,50	138,00	51,40	124,10	72,70	79,90	50,80	93,00	40,30	130,90
2013	113,00	180,10	58,00	DF	154,90	DF	22,60	55,60	DF	DF	123,70	DF
2014	DF	46,10	104,90	21,20	4,20	0,50	0,10	0,30	0,20	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	38,90	52,90	97,10	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF

DF : Dato Faltante

**Tabla 13.** Precipitación Mensual [mm] Estación UIS

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2002	DF	45,10	141,40	197,80	109,30	111,70	65,20	23,70	54,60	80,10	51,30	23,30
2003	80,70	148,20	137,40	38,00	65,00	97,90	97,50	32,70	203,90	141,00	137,30	66,30
2004	101,80	70,10	101,00	72,50	129,70	DF	DF	85,40	75,10	100,40	123,70	142,80
2005	69,40	DF	DF	DF	DF	DF	DF	43,20	91,80	158,40	DF	117,60
2006	91,20	91,70	145,80	163,10	124,40	83,00	71,00	78,90	29,90	DF	DF	DF
2007	DF	121,30	47,00	43,50	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF

DF : Dato Faltante

**Tabla 14.** Precipitación Mensual [mm] Estación Ciudadela Ant

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	DF	DF	DF	DF	DF	DF	120,60	101,00	188,20	131,80	129,20	112,40
2011	11,16	59,66	91,89	151,29	203,50	146,22	120,79	156,99	59,20	284,79	77,38	99,50
2012	123,93	44,43	65,20	140,34	73,63	119,55	44,95	132,47	63,89	123,39	68,26	100,31

DF : Dato Faltante

**Tabla 15.** Precipitación Mensual y Anual [mm] Estación C.D.M.B

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Precip Anual
1979	72,80	35,70	52,00	164,20	105,90	70,30	55,48	100,50	53,70	176,00	220,50	62,70	1169,78
1980	37,20	82,10	84,80	146,00	139,30	93,20	194,70	104,00	34,00	82,50	116,70	61,34	1175,84
1981	64,30	81,50	112,20	100,30	139,30	64,60	62,40	93,50	69,70	25,90	16,70	3,90	834,30
1982	5,80	8,30	30,50	155,50	98,20	71,50	31,90	21,00	24,40	7,00	48,90	50,10	553,10
1983	15,50	43,30	117,60	162,90	142,00	102,80	65,50	44,70	46,60	33,30	24,50	48,30	847,00
1984	24,70	27,70	25,40	69,50	48,30	62,00	47,50	54,30	93,00	107,60	97,50	3,80	661,30
1985	82,10	7,10	35,00	113,90	38,20	88,20	121,30	60,30	113,00	97,26	41,20	37,60	835,16
1986	67,40	55,00	118,40	162,50	90,20	79,90	90,80	88,40	110,80	165,20	65,40	50,60	1144,60
1987	51,50	45,50	105,10	104,80	173,50	50,40	109,40	44,60	130,90	148,90	68,80	24,50	1057,90
1988	29,20	111,80	107,60	115,20	80,80	114,20	106,80	87,50	140,60	117,90	187,20	50,60	1249,40
1989	5,40	28,50	216,20	107,50	151,30	108,10	51,00	65,50	97,00	84,40	36,40	105,60	1056,90
1990	28,80	43,00	76,70	111,40	90,70	81,30	54,30	72,70	41,20	76,80	122,20	120,40	919,50
1991	26,30	8,00	85,40	114,90	96,70	88,00	76,30	66,10	64,20	67,40	155,90	12,50	861,70
1992	45,00	116,00	24,20	39,60	99,50	90,20	90,20	62,20	75,80	39,30	38,30	21,00	741,30
1993	41,90	109,60	108,10	94,60	113,60	83,90	96,30	65,70	70,00	64,50	189,10	11,80	1049,10
1994	197,00	36,30	66,90	92,40	152,40	24,20	64,80	49,60	114,20	69,30	59,70	43,60	970,40
1995	12,40	33,30	65,10	46,63	80,70	89,20	48,00	103,12	74,20	127,00	55,50	55,90	791,05
1996	27,30	31,20	93,10	82,40	69,50	134,00	118,00	52,40	126,70	165,10	62,10	22,40	984,20
1997	72,40	27,20	74,60	115,00	109,00	30,50	84,90	39,60	137,30	28,70	83,40	85,80	888,40
1998	81,80	136,00	92,50	135,40	139,10	102,40	129,60	77,10	70,10	207,20	26,60	63,70	1261,50
1999	28,00	115,10	129,10	28,00	128,70	79,00	157,70	95,50	252,80	86,30	188,60	78,00	1366,80
2000	162,50	159,60	201,70	40,20	111,20	99,40	111,00	91,30	123,70	36,70	90,60	15,50	1243,40
2001	53,90	15,70	144,50	46,30	199,70	103,30	49,50	43,80	159,00	97,90	190,50	30,20	1134,30
2002	65,80	60,00	130,30	175,70	111,80	124,30	72,80	46,10	60,80	75,20	102,30	0,30	1025,40
2003	103,10	166,10	144,80	144,80	99,50	132,80	122,10	61,00	188,00	121,70	161,00	42,40	1487,30
2004	86,90	63,55	142,83	111,34	136,77	44,70	70,40	61,20	62,30	138,78	158,13	79,10	1156,00
2005	82,41	304,30	47,35	70,10	106,40	41,10	64,00	50,50	177,00	273,40	170,80	80,40	1467,76
2006	86,12	62,10	180,50	158,07	120,70	80,10	70,60	71,90	68,10	169,80	55,10	57,12	1180,21

En el análisis de la precipitación mensual de las estaciones de las microcuencas Rio de Oro Medio y Bajo se observa que el mes de mayor precipitación fue en octubre de 2011, con un acumulado mayor a 250 mm de lluvia para las estaciones de la microcuenca Rio de Oro Bajo y de 242 mm de lluvia en El Pantano ubicada en la microcuenca Rio de Oro Medio.

La precipitación anual máxima reportada por la estación Centro es de 1709 mm en el año 2010, lo cual es un valor extremo ya que los demás años reportan una precipitación anual entre los 1000 y 1400 mm de lluvia. La estación C.D.M.B reporta una precipitación anual máxima de 1487 mm en el año 2003.

**Precipitación mensual multianual:** En las estaciones CDMB, Centro, Acapulco y El Pantano, se hizo el análisis de precipitación mensual multianual para poder establecer el ciclo anual de lluvias. Utilizando este estudio se busca observar el comportamiento de la zona teniendo en cuenta que la región se encuentra influenciada por la zona de convergencia intertropical (ZCIT).

Realizando el análisis promedio mensual multianual se logra observar que para la estación Centro los meses de mayor precipitación son abril y octubre con 118 mm y 154 mm de lluvia respectivamente, no se tuvo en cuenta el año 2003 en el estudio ya que se encontraron irregularidades. En la estación C.D.M.B los meses de mayor precipitación son abril y mayo en la primera parte del año con 107 mm y 113 mm de lluvia y octubre y noviembre en el segundo periodo anual con 103 mm y 101 mm de lluvia.

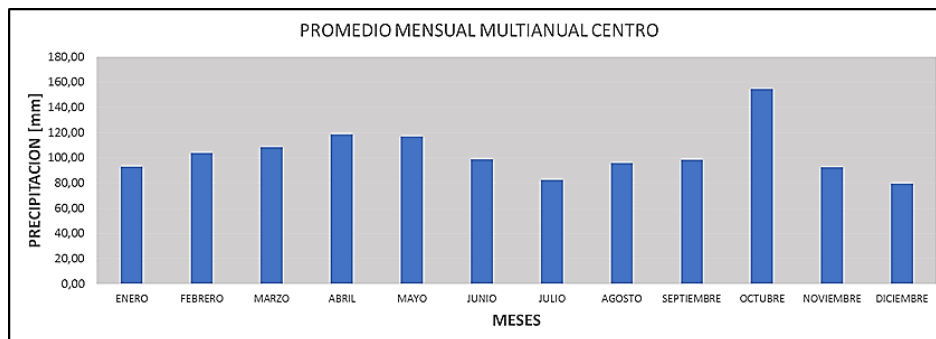


Figura 7. Promedio mensual Multianual Estación Centro 2002 – 2012

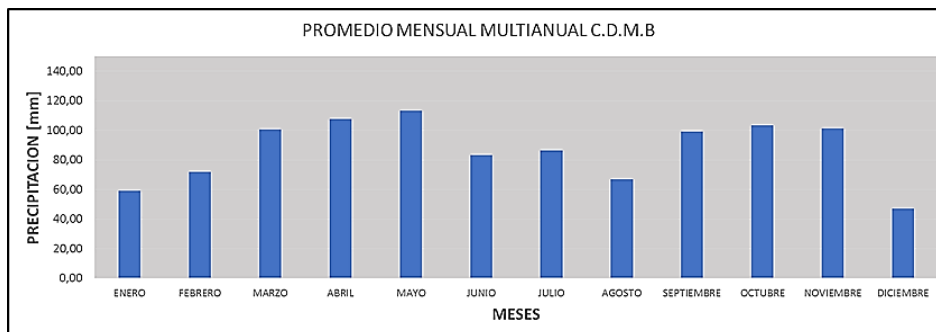


Figura 8. Promedio mensual Multianual Estación CDMB 1979 – 2006

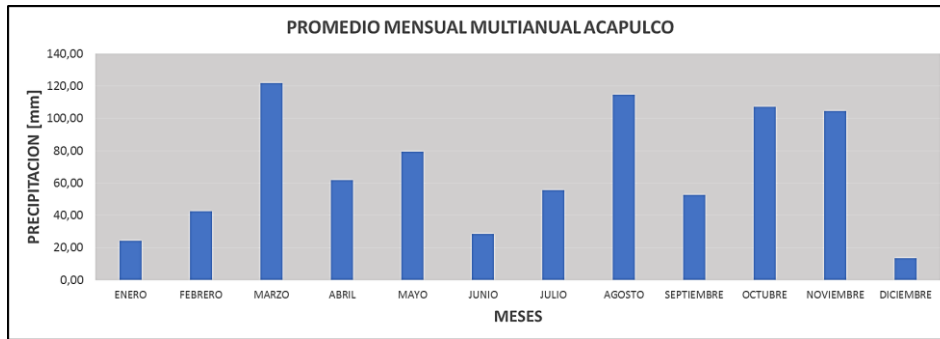


Figura 9. Promedio mensual Multianual Estación Acapulco 2013 – 2016

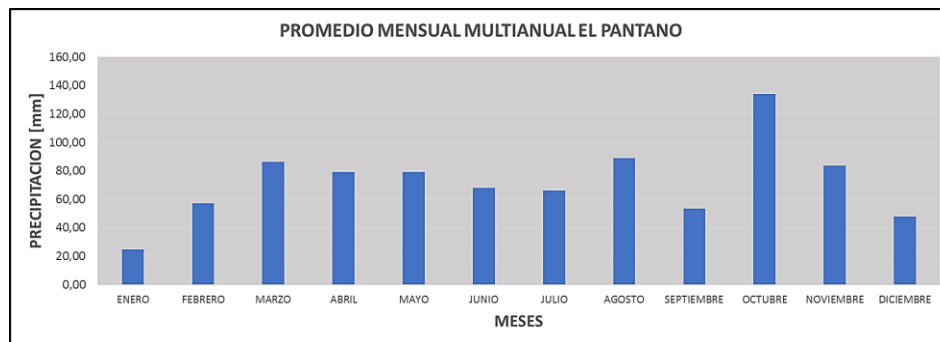


Figura 10. Promedio mensual Multianual Estación El Pantano 2011 – 2016

En la estación Acapulco el mes de mayor precipitación para la primera parte del año es marzo con 121 mm de lluvia y en el segundo periodo es agosto y octubre con 114 mm y 107 mm de lluvia respectivamente. En la estación El Pantano los meses de mayor precipitación son marzo con 86 mm de lluvia para el primer periodo del año y octubre con 133 mm de lluvia para el segundo periodo. Teniendo en cuenta los resultados se puede observar que las estaciones cumplen con un régimen bimodal de lluvias, donde se presentan dos periodos lluviosos y dos periodos no lluviosos en un ciclo anual.

**Intensidad de Lluvias:** En las estaciones climatológicas automáticas activas se estableció la intensidad de lluvias para luego clasificarlas. A continuación, la Tabla 16 indica con la distribución porcentual de cada estación.

Tabla 16. Distribución Porcentual de la intensidad de lluvias

Estación	Débil entre 0,1 a 2,0	Moderada entre 2,1 a 15,0	Fuerte entre 15,1 a 30,0	Muy Fuerte entre 30,1 a 60,0	Torrencial mayor a 60
Acapulco	78,8%	19,8%	1,1%	0,3%	0,0%
El Pantano	83,6%	15,2%	1,1%	0,2%	0,0%
Ciudadela	76,3%	21,2%	2,3%	0,3%	0,0%

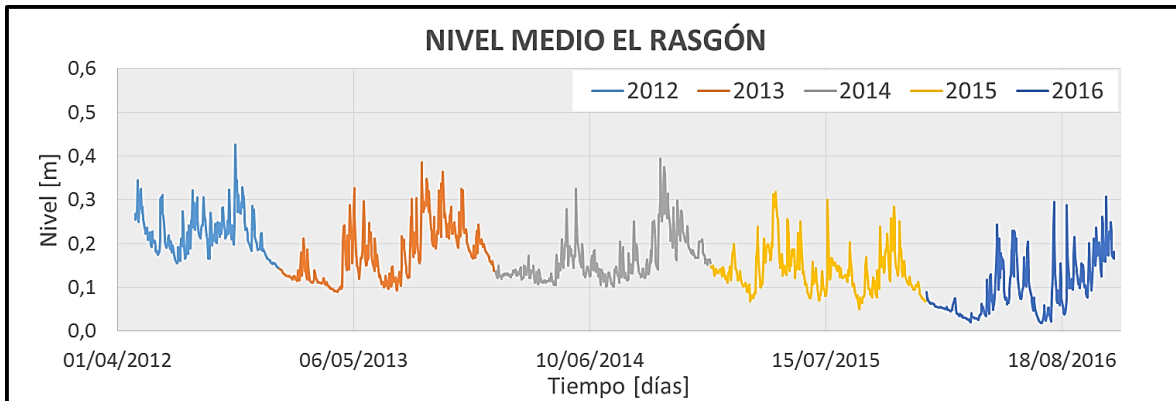
Teniendo en cuenta los valores porcentuales en cada rango de intensidad se logra observar que ambas microcuencas tienen un comportamiento similar. En ninguna de las estaciones se presentó lluvias de tipo torrencial y se presentaron muy pocas lluvias de tipo Muy Fuerte.

#### 4.5 Análisis Hidrométrico

Para el análisis de la estación automática de nivel El Rasgón, se continuó con un estudio hecho anteriormente en la corporación, el cual puede ser leído en el informe, Apoyo a la CDMB en el desarrollo de actividades para el funcionamiento de la red hidroclimatológica y procesamiento de la información, en estaciones localizadas en la microcuenca río de oro alto [12]. Para continuar con el estudio se analizó la información desde agosto hasta noviembre del 2016, además se observó su comportamiento general tomando en cuenta todo el periodo en el que la estación automática ha estado en funcionamiento.

##### 4.5.1 Análisis de Niveles

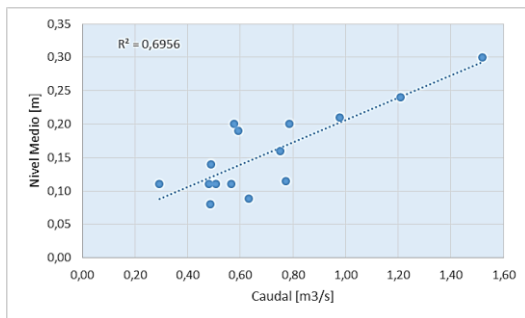
A continuación se muestra el comportamiento de los niveles medios durante los años 2012 a 2016.



**Figura 13.** Nivel Medio 2012 – 2016

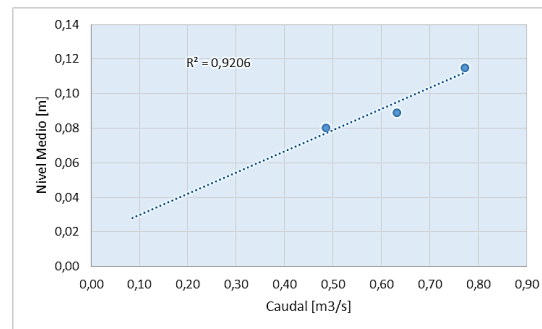
#### 4.5.2 Curva de Calibración

Para generar la curva de calibración se buscó una relación entre los niveles medios y los caudales tomados durante el funcionamiento de la estación incluyendo los últimos aforos generados durante el periodo de la práctica, como se muestra en la Figura 14.



**Figura 14.** Relación Nivel Medio vs Caudal 2012 – 2016

Teniendo en cuenta que el conjunto de aforos tiene un coeficiente de correlación nivel medio vs caudal de 0,69 se decidió observar el comportamiento de los aforos del año 2016 por separado.

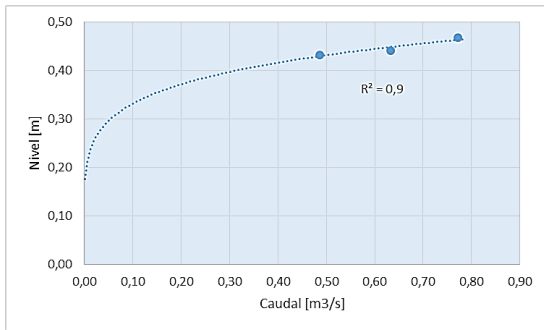


**Figura 15.** Relación Nivel Medio vs Caudal 2016

La relación de los datos en el año 2016 proporciona un buen coeficiente de correlación. Por lo tanto, se genera la curva de calibración mostrada en la Figura 16, utilizando el método logarítmico para el ajuste Nivel vs Caudal y tomando en cuenta los datos de los aforos mostrados en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Datos de Aforos Estación El Rasgón 2016

Fecha	Hora Inicial	Caudal [m3/s]	Nivel Medio [m]	H-Ho [m]
27/06/2016	11:00 a.m.	0,4858	0,08	0,43
05/09/2016	11:00 a.m.	0,6322	0,09	0,44
24/10/2016	10:45 a.m.	0,7724	0,12	0,47



**Figura 16.** Curva de Calibración Estación El Rasgón 2016

La ecuación obtenida por medio de la curva de calibración es:

$$Q = 48,522 * (H - H_0)^{5,4163}$$

Con un coeficiente de correlación de R2=0,9 lo cual indica que los aforos en estudio se ajustan de manera adecuada a la curva.

Se observa que al realizar la curva de calibración solo con los datos registrados durante el año 2016, los niveles medios de los aforos se encuentran muy cercanos respecto al rango de niveles registrados por la estación durante el mismo año. Por lo tanto, el resultado es confiable para un rango muy angosto de niveles medios respecto a los caudales lo cual genera una curva de calibración poco confiable.

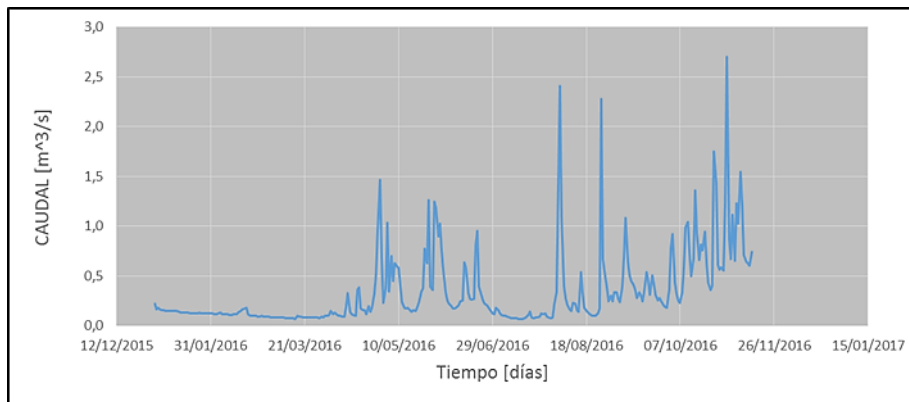
Para mejorar la confiabilidad del resultado se deben incluir un mayor número de aforos que registren los caudales en diferentes periodos del afluente.

#### 4.5.3 Caudal Medio Diario

Utilizando la ecuación generada por la curva de calibración se determinan los caudales medios diarios del año 2016 y se genera una comparación con los caudales medios diarios determinados en la CDMB para los años 2012, 2013, 2014 y 2015.

En la gráfica del Caudal Medio Diario para el año 2016 se registra un caudal medio diario máximo de 2,7 m³/s.

Se reconoce una disminución del caudal medio diario a lo largo del periodo de funcionamiento de la estación con la excepción de noviembre y octubre de 2016.



**Figura 17.** Caudal Medio Diario 2016

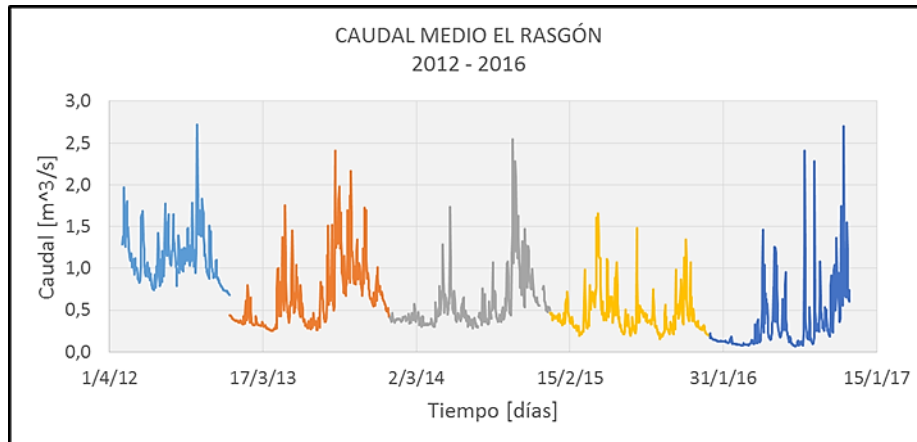


Figura 18. Caudal Medio Diario 2012 - 2016

## 5. CONCLUSIONES

A partir de la identificación de datos faltantes mensuales de precipitación se observa que las estaciones Norte, Ciudadela y UIS exceden el 25% admisible, lo cual afecta la representatividad temporal. Cabe resaltar que las estaciones C.D.M.B y Centro tienen 28 años (1979 – 2006) y 11 años (2002 – 2012) de registros pero conservan los datos de manera más continua que las estaciones activas a la fecha. Teniendo en cuenta que la estación C.D.M.B es un pluviógrafo, se deben rescatar los datos registrados para estudiar valores de intensidad en futuras investigaciones.

El estudio de consistencia, por medio del análisis de doble masa de la precipitación registrada por las estaciones C.D.M.B y Centro, permitió concluir que éstas cumplen con el test de homogeneidad respecto a la estación Bucaramanga IDEAM. Se observan irregularidades en el diagrama de doble masa entre la estación C.D.M.B y UIS IDEAM, por lo cual se recomienda hacer un análisis estadístico que determine si se deben hacer correcciones en los datos de la estación.

A partir del análisis de precipitación mensual multianual de 28 años para la estación C.D.M.B, de 11 años para la estación Centro, de 6 años para la estación El Pantano y 4 años para la estación Acapulco, se encuentra que en las microcuencas Río de Oro Bajo y Río de Oro Medio hay un régimen de tipo bimodal, con dos periodos de lluvia y dos periodos de no lluvia. En el primer periodo de lluvias los meses de mayor precipitación son abril - mayo y para el segundo periodo octubre -

noviembre. Este comportamiento va acorde al efecto que se genera en la región debido a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

En la estación automática de niveles de agua, El Rasgón, el comportamiento del nivel medio registrado tiende a ser decreciente desde el año 2012 hasta junio del 2016, y tiene una tendencia creciente desde julio hasta noviembre del 2016. Por lo tanto se recomienda hacer una revisión de la estación la cual permita determinar la confiabilidad de la información reportada.

La curva de calibración que se generó para el año 2016 en la estación El Rasgón ubicada en la microcuenca Río de Oro Alto, no es confiable para determinar caudales con niveles medios muy altos, debido a que los niveles utilizados para generar la curva son bajos respecto al comportamiento del nivel medio en el año.

## 6. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la importancia de la continuidad de la información y buscando reducir el porcentaje de datos faltantes, se aconseja que haya un grupo activo durante todo el año encargado del descargue de datos de las estaciones, de este modo evitar el sobre almacenamiento de datos en los equipos.

Se recomienda no trasladar de manera muy seguida las estaciones, mantenerlas en un buen estado y en modo activo para poder obtener registros de información con periodos mínimos de 10 años. Por



lo tanto, las estaciones climatológicas que se encuentran en estado inactivo y tienen un periodo de registro considerable deben ser recuperadas, como la estación Centro y la estación Norte en la microcuenca Río de Oro Bajo.

Para evitar la pérdida de información durante largos periodos de tiempo se debe establecer el sistema de telemetría, ya que este sistema reporta datos en tiempo real a la sede central de la CDMB y puede ser utilizado para dar prioridad en el mantenimiento y reparación a las estaciones que no estén reportando datos o estén reportando datos irregulares.

Por último, se debe reestablecer la función de los observadores en los puntos de control de cantidad para generar un registro del comportamiento del nivel medio en los afluentes de la región. Además, se deben realizar los aforos directos de manera completa y como mínimo cada dos meses para cada punto de control.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado bajo la supervisión de la Doctora Sully Gómez Isidro y la Ingeniera María Carmenza Vicini, a quienes se les agradece la oportunidad de realizar la práctica empresarial y el apoyo y acompañamiento brindado en el desarrollo de la misma.

## 8. REFERENCIAS

[1] Ven Te Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays., de HIDROLOGIA APLICADA, SANTAFE DE BOGOTA, MCGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A., 1994. p 1.

[2] REDES DE MONITOREO HIDROCLIMATOLÓGICAS CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB [sitio web] Bucaramanga: CDMB [consultado: 14 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://caracoli.cdm.gov.co>

[3] PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL SUBCUENCA RIO DE ORO, [sitio web] Bucaramanga: CMDB, [consultado 22

de febrero de 2017]. Disponible en: <http://mail.cdm.gov.co/ciaga/documentosciaga4/EstudioAmbientaSubriodeOro.pdf>. pág. 2 - 4

[4] RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA, Redes de Monitoreo Hidroclimatológicas, Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga [sitio web] Bucaramanga: CDMB, [consultado: 22 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/redcalidad.htm>

[5] VANTAGE PRO2 PLUS PROFESSIONAL AND RUGGED FOR EXPERT WEATHER WATCHING. DAVIS INSTRUMENTS. [sitio web]. [consultado: 27 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.davisnet.com/solution/vantage-pro2-plus/>

[6] INFORME PRIMER SEMESTRE 2016 CDMB. [sitio web]. Bucaramanga: CDMB. [consultado: 28 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/reprhc.html>

[7] VAN ESSEN INSTRUMENTS BARO-DIVER. [sitio web]. Portland, USA: Stevens Water Monitoring System. [consultado: 28 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.stevenswater.com/products/sensors/hydrology/level/logging/baro/>

[8] CRISTIAN CAMILO ZAPATA HERNANDEZ, Apoyar las actividades desarrolladas por la CDMB para el funcionamiento de la red hidro-climatológica y procesamiento de la información, en estaciones localizadas en la subcuenca del río surata. Bucaramanga, 2016, Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Facultad Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil. Pág. 24.

[9] EXPLORABLE: La correlación estadística. [consultado: 20 de marzo de 2017]. Disponible en: <https://explorable.com/es/la-correlacion-estadistica>

[10] IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015 Bogotá, D.C., 2016. Pág. 7.

[11] PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN. [sitio web]. Corrientes, Argentina: Universidad Nacional de Nordeste. [consultado: 16 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp2.pdf>

[12] LAURA XIMENA GALVIS DURÁN, Apoyo a la CDMB en el desarrollo de actividades para el funcionamiento de la red hidroclimatológica y procesamiento de la información, en estaciones localizadas en la microcuenca río de oro alto. Bucaramanga, 2016, Plan de trabajo. Universidad Industrial de Santander, Facultad Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil.

[13] MORENO, María Luisa. Técnicas y algoritmos empleados en estudios hidrológicos e hidráulicos. [sitio web]. [consultado: 21 de marzo de 2017]. Disponible en: [www.aecidcf.org.uy](http://www.aecidcf.org.uy)

[14] PÉREZ APRECIADO, Alfonso. Métodos para elaborar curvas de calibración en cauces aluviales. Centro de Documentación IDEAM. 1969. Pág. 9, 10.

## ANEXOS

### Anexo 1.

#### Componentes de la estación climatológica automática

ISS: Derivado de las siglas en inglés, integrated sensor suite. Es el conjunto integrado de sensores externos que presenta la estación. Este sistema envía la información de los distintos sensores a través del SIM, este contiene todas las conexiones para los sensores climatológicos. La información es luego recibida por la consola.

Anemómetro y veleta de viento: Este instrumento mide la velocidad y la dirección del viento, hace parte del ISS. La consola calcula una velocidad de viento promedio cada 10 min y la dirección de viento dominante en 10 min. Las unidades en que trabaja la dirección de viento son 16 puntos de compas o grados con una precisión de 3°, las unidades de velocidad están en m/s, con la precisión de 1 m/s.

**Figura 1.** Anemómetro y Veleta de viento



Fuente: Autor

Sensores de Temperatura y Humedad: Estos sensores del ISS se encuentran alojados en una envuelta blindada con un venteo que reduce errores por radiación. El sensor de temperatura presenta una precisión de 0,5 °C y tiene un rango de -40°C a 65°C. El sensor de humedad relativa presenta una precisión de 3% HR con un rango que va de 1% a 100%.

**Figura 2.** Sensores de Temperatura y Humedad



Fuente: Autor

Sensores de Radiación solar e Índice UV: Son instrumentos que hacen parte del SSI. El sensor de radiación solar tiene una precisión de 1 W/m<sup>2</sup> y un rango de 0 a 1800 W/m<sup>2</sup>. El sensor de índice UV representa una medida de intensidad UV creada por Environment Canada y adoptada por la organización meteorológica mundial, tiene un rango de 0 a 16 y una precisión del 5% de la escala completa.

**Figura 3.** Sensores de Radiación Solar e índice UV



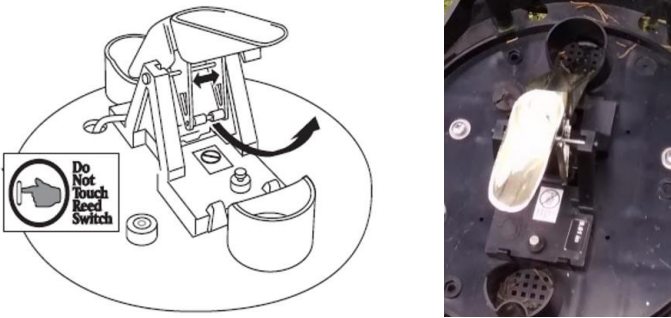
Radiación UV

Radiación solar

Fuente: MeteoLobios 2012

**Pluviómetro Automático:** Este instrumento que hace parte del ISS es un balancín que fue calibrado en fábrica para que mida 0,2 mm de lluvia con cada vuelco. El cálculo pluviométrico se genera tomando el intervalo de tiempo entre cada vuelco del balancín. Tiene un rango superior de 999,9 mm de lluvia.

**Figura 4.** Pluviómetro de Balancín



Fuente: Integrated Sensor Suite Installation Manual - DAVIS INSTRUMENTS

**Consola:** Es el equipo encargado de guardar la información climatológica que es transmitida por el SSI. En él se puede visualizar las condiciones actuales reales de la estación de todas las variables climatológicas programadas. Se puede descargar la información almacenada directamente al computador del analista utilizando el programa Weatherlink .

**Figura 5.** Estación Davis Vantage Pro2 Plus

- **Pluviómetro Automático:**  
Este sistema es totalmente autónomo no haciendo falta descargarlo luego de cada precipitación.
- **Soportes rígidos:**  
Estos soportes están contruidos en materiales resistentes a la intemperie y brindan un excelente agarre de la central.
- **Anemómetro y Veleta:**  
Toman datos del viento, intensidad, dirección, ráfagas, etc.
- **ISS- Conjunto de Sensores:** radiación solar, temperatura y humedad ambiente y de suelo.
- **Panel Solar:**  
Brinda total autonomía en lugares sin acceso a corriente eléctrica.
- **Unidad de Comunicación:**  
Transmite datos a PC, palms e internet.
- **Consola Central y Datalogger**  
Muestra y almacena datos aún estando desconectada de la computadora central. **Vantage pro2 no pierde datos**

**VANTAGE PRO2 PLUS**  
DAVIS INSTRUMENTS

Fuente: DAVIS INSTRUMENTS

## Anexo 2.

### Porcentaje de datos faltantes mensuales de precipitación de manera anual para cada estación

ESTACIÓN ACAPULCO	
AÑO	% Datos Faltantes de Precipitación
2013	20,0%
2014	33,3%
2015	8,3%
2016	16,7%

ESTACIÓN EL PANTANO	
AÑO	% Datos Faltantes de Precipitación
2011	8,3%
2012	0,0%
2013	8,3%
2014	16,7%
2015	25,0%
2016	33,3%

ESTACIÓN CIUDELA	
AÑO	% Datos Faltantes de Precipitación
2013	41,67%
2014	8%
2015	33,33%
2016	25%

ESTACIÓN NORTE	
AÑO	% Datos Faltantes de Precipitación
2009	66,67%
2010	8,33%
2011	0,00%
2012	0,00%
2013	41,67%
2014	8,33%
2015	58,33%

ESTACIÓN CENTRO	
AÑO	% Datos Faltantes de Precipitación
2001	83,33%
2002	0,00%
2003	0,00%
2004	0,00%
2005	8,33%
2006	8,33%
2007	0,00%
2008	0,00%
2009	0,00%
2010	8,33%
2011	0,00%
2012	0,00%
2013	75,00%
2014	16,67%
2015	50,00%

ESTACIÓN UIS	
AÑO	% Datos Faltantes de Precipitación
2002	8,33%
2003	0,00%
2004	16,67%
2005	58,33%
2006	25,00%
2007	75,00%

ESTACIÓN CIUDELA ANT	
AÑO	% Datos Faltantes de Precipitación
2010	50,00%
2011	0,00%
2012	0,00%

ESTACIÓN C.D.M.B															
AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	
% DF	0%	0%	0%	0%	4%	6%	4%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	
AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
% DF	1%	1%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15%	10%	12%	

**Anexo 3**

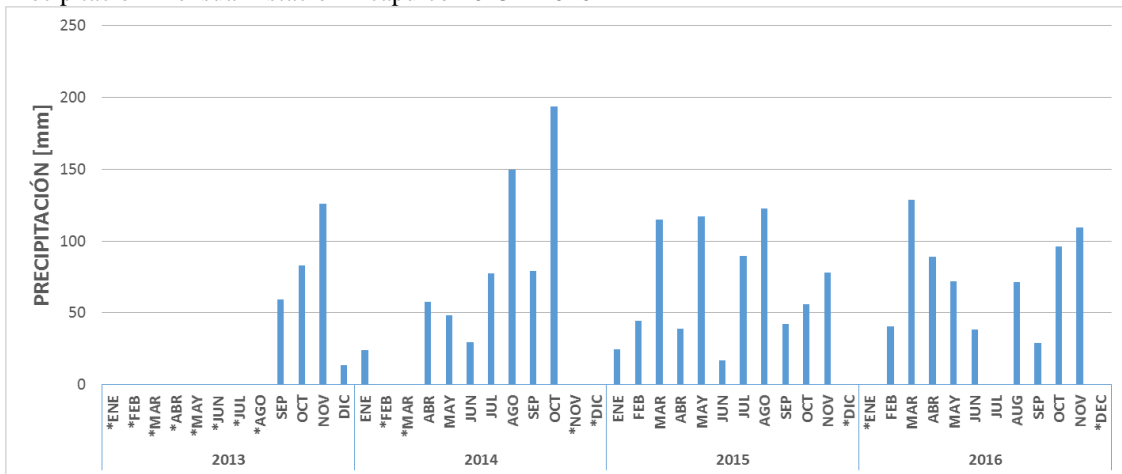
Datos de precipitación completados para la estación Centro y C.D.M.B

Estación CDMB				Estación Centro			
Fecha:	Precipitación [mm]	Estación de Referencia	Coefficiente de Correlación	Fecha:	Precipitación [mm]	Estación de Referencia	Coefficiente de Correlación
oct-85	97,3	La Floresta	0.7	mar-10	9,6	Bucaramanga	0.9
feb-04	63,6	Bucaramanga	0.93	abr-05	124,9	La Floresta	0.74
oct-04	138,8	Bucaramanga	0.91	ago-06	70,7	La Floresta	0.86
nov-04	158,1	Bucaramanga	0.99				
ene-05	82,4	Bucaramanga	0.75				
mar-05	47,4	Bucaramanga	0.7				
ene-06	86,1	Bucaramanga	0.75				
abr-06	158,1	Bucaramanga	0.7				
dic-06	57,1	Bucaramanga	0.83				

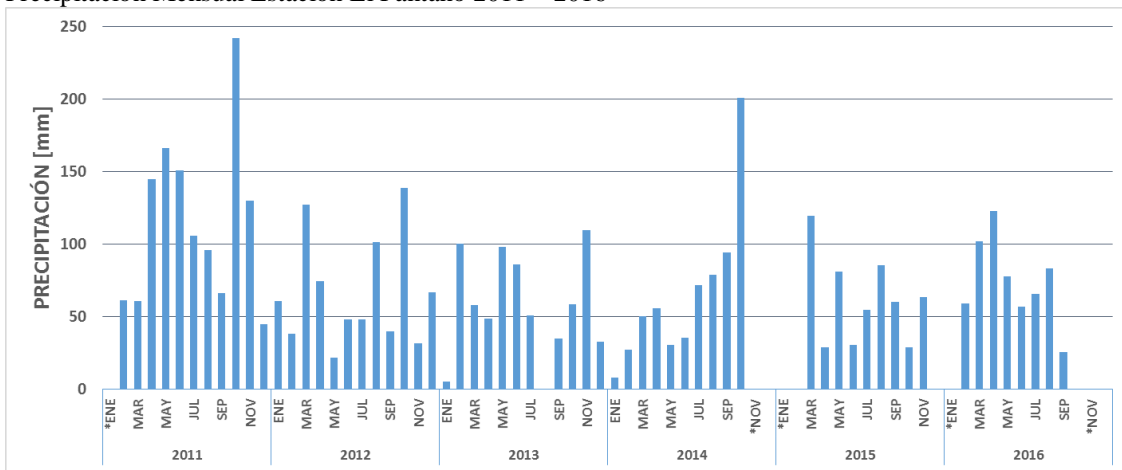
**Anexo 4**

Graficas de Precipitación Mensual para las estaciones en estudio.

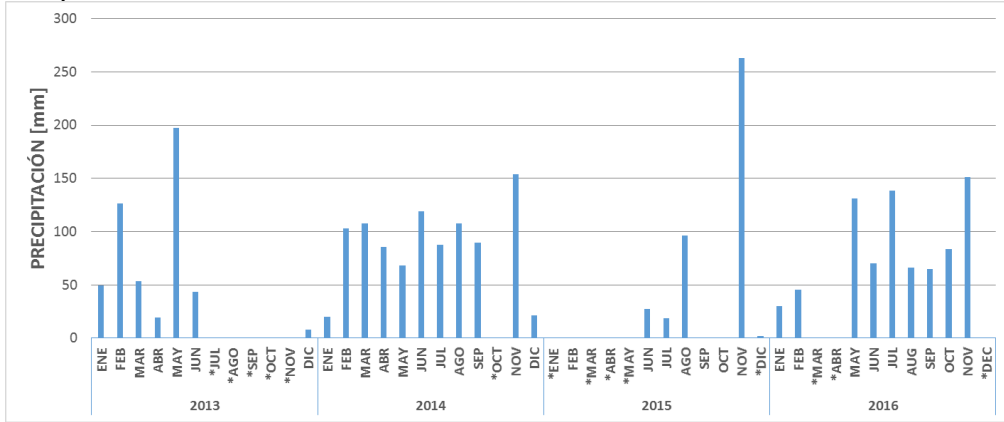
Precipitación Mensual Estación Acapulco 2013 – 2016



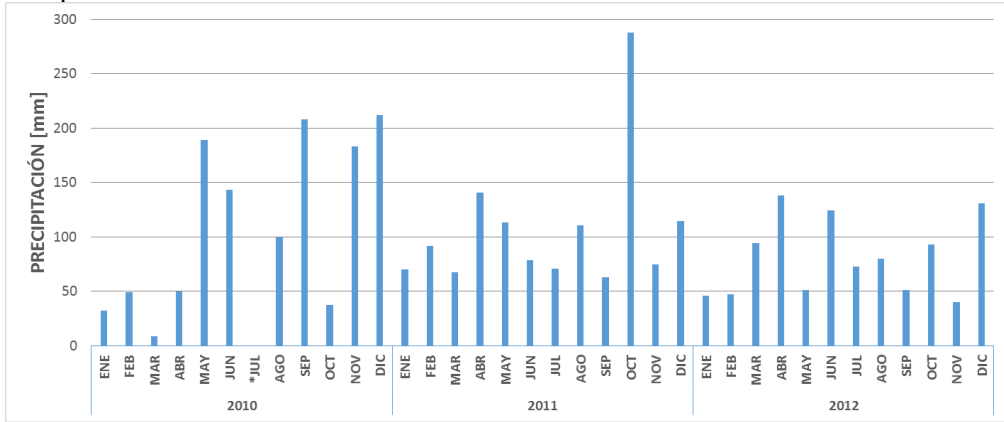
Precipitación Mensual Estación El Pantano 2011 – 2016



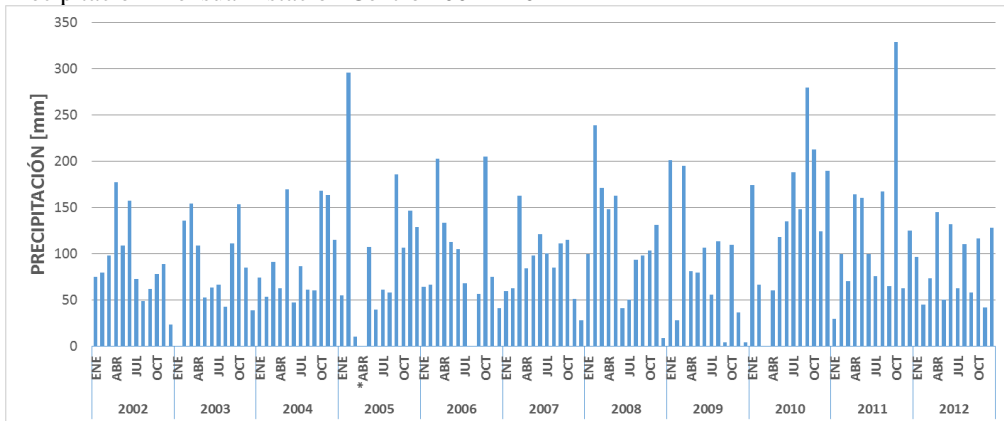
Precipitación Mensual Estación Ciudadela 2013 – 2016



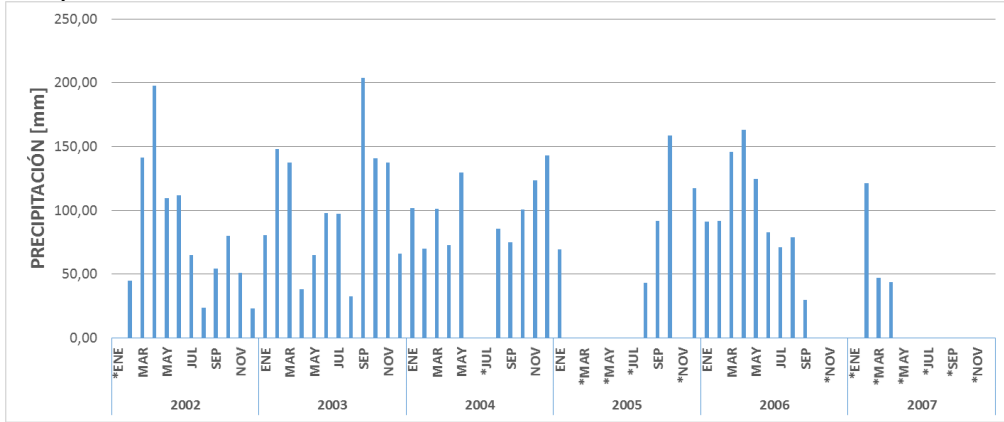
Precipitación Mensual Estación Norte 2010 - 2012



Precipitación Mensual Estación Centro 2002 – 2012



Precipitación Mensual Estación UIS 2002 - 2007



Precipitación Mensual Estación Ciudadela Antigua 2010 - 2012

