

**RESULTADOS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL DESARROLLADA EN LA
CDMB PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA
EN ESTACIONES LOCALIZADAS EN LA SUB-CUENCA DEL RÍO SURATÁ**

CRISTIAN CAMILO ZAPATA HERNANDEZ

**Trabajo de Grado en la modalidad de práctica empresarial para optar al título
de Ingeniero Civil**

DIRECTOR

SULLY GOMEZ ISIDRO

Ingeniera Civil, Ph.D

TUTOR

HECTOR AMADO HERNANDEZ

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2016

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. OBJETIVOS	15
1.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	16
2.2. ESTACIONES HIDROCLIMATOLÓGICAS SUBCUENCA RÍO SURATÁ	16
2.3. INSTRUMENTACIÓN DE LAS ESTACIONES.....	20
2.3.1 Estación Climatológica.....	20
2.3.2 Estación Hidrométrica.....	21
2.4. PERIODO DE ANÁLISIS	22
3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	23
3.1. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICOS.....	23
3.1.1 Estimación de la calidad en los datos.....	23
3.1.2 Fallas en el funcionamiento de las estaciones climatológicas.....	24
3.1.3. Análisis de la precipitación	26
3.1.4. Análisis de intensidad de lluvias.....	27
3.2. ANALISIS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA, MÍNIMA MEDIA Y PROMEDIO.....	28

3.3.	CURVA DE CALIBRACIÓN.....	30
4.	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS METEOROLÓGICOS Y CURVAS DE CALIBRACIÓN.....	32
4.1.	ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD EN LOS DATOS.....	32
4.2.	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN.....	33
4.3.	ANÁLISIS DE INTENSIDAD DE LLUVIAS.....	41
4.4.	ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA, MÍNIMA MEDIA Y PROMEDIO ANUAL.....	43
4.5.	CURVAS DE CALIBRACIÓN EN ESTACIONES LOCALIZADAS EN LA SUBCUENCA RÍO SURATÁ.....	49
4.5.1	Curva de calibración estación SA-07 Uña de Gato.....	49
4.5.2	Curva de calibración estación SA-06 Puente Panega.....	50
4.5.3	Curva de calibración estación RT-01 Puente Tona.....	51
5.	GUÍA O MANUAL PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS HIDROCLIMATOLÓGICOS EN ESTACIONES LOCALIZADAS DENTRO DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CDMB.....	53
6.	CONCLUSIONES.....	54
7.	RECOMENDACIONES.....	56
	BIBLIOGRAFÍA.....	58
	ANEXOS.....	60

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Red hidroclimatológica subcuena río Suratá	18
Tabla 2. Clasificación de la Intensidad de lluvia media en una hora.	28
Tabla 3. Estaciones hidrométricas con mira limnimétricas	30
Tabla 4. Valor porcentual de datos disponibles. Estación Lago Alto	32
Tabla 5. Valor porcentual de datos disponibles. Estación El Roble	32
Tabla 6. Precipitación mensual y anual. Estación Lago Alto	33
Tabla 7. Precipitación media mensual. Estación Lago Alto	34
Tabla 8. Precipitación máxima anual. Estación Lago Alto	37
Tabla 9. Precipitación mensual y anual. Estación El Roble	37
Tabla 10. Precipitación media mensual. Estación El Roble	39
Tabla 11. Precipitación máxima anual. Estación El Roble	41
Tabla 12. Intensidad máxima anual.	41
Tabla 13. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual.	45
Tabla 14. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual.	48
Tabla 15. Dato de aforos SA-07 Uña de Gato	49
Tabla 16. Datos de aforos SA-06 Puente Panega	50
Tabla 17. Datos de aforos RT-01 Puente Tona	52

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Precipitación media mensual. Estación Lago Alto	35
Gráfico 2. Comportamiento precipitación anual. Estación Lago Alto	36
Gráfico 3. Precipitación media mensual. Estación El Roble	39
Gráfico 4. Comportamiento precipitación anual. Estación El Roble.....	40
Gráfico 5. Temperatura máxima media mensual. Estación Lago Alto	43
Gráfico 6. Temperatura mínima media mensual. Estación Lago Alto	44
Gráfico 7. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual. Lago Alto.....	45
Gráfico 8. Temperatura máxima media mensual. Estación EL Roble.....	46
Gráfico 9. Temperatura mínima media mensual. Estación El Roble	47
Gráfico 10. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual. El Roble	48
Gráfico 11. Curva de calibración. Estación SA-07.....	50
Gráfico 12. Curva de calibración. Estación SA-06.....	51
Gráfico 13. Curva de calibración. Estación RT-01.....	52

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. DATOS METEOROLÓGICOS 2011-2015 ESTACIÓN LAGO ALTO Y EL ROBLE.

ANEXO B. PLUVIOSIDAD 2011-2015 ESTACIÓN LAGO ALTO Y EL ROBLE.

ANEXO C. TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA 2011-2015 ESTACIÓN LAGO ALTO Y EL ROBLE.

ANEXO D. INTENSIDAD DE LLUVIA MÁXIMA 2011-2015 ESTACIÓN LAGO ALTO Y EL ROBLE

ANEXO E. GUÍA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS HIDROCLIMATOLÓGICOS EN ESTACIONES LOCALIZADAS DENTRO DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CDMB.

NOTA : LOS ANEXOS CORRESPONDIENTES A ESTE PROYECTO PUEDEN SER CONSULTADOS EN BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER: SALA BASE DE DATOS, O EN LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA: SUBDIRECCIÓN DE ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO.

RESUMEN

TÍTULO: 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 SURATÁ*

AUTOR: CRISTIAN CAMILO ZAPATA HERNANDEZ**

PALABRAS CLAVES: Hidroclimatología, Aforo, Subcuenca, Precipitación, Temperatura, Curva de Calibración, río Suratá.

DESCRIPCIÓN:

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de Meseta de Bucaramanga –CDMB- como autoridad ambiental dentro del ámbito de su jurisdicción, tiene como función, realizar los procesos de análisis, seguimiento, y gestión del conocimiento ambiental y de recursos naturales renovables, mediante la implementación de una red hidroclimatológica distribuida ampliamente en el área de jurisdicción, y que tiene como objetivo, llevar a cabo actividades de monitoreo y caracterización de las condiciones hidroclimatológicas, las cuales, permiten evaluar las acciones y toma de decisiones direccionadas al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables.

En cumplimiento con las funciones de monitoreo y gestión del conocimiento ambiental, se realiza el análisis detallado de las condiciones hidroclimatológicas de la subcuenca río Suratá, a partir, de información meteorológica capturada y almacenada por dos estaciones climatológicas automáticas e información disponible de aforos y lecturas de nivel recopilada mediante tres estaciones limnimétricas. El volumen de información meteorológica se encuentra comprendido entre el año 2011 al 2015 en intervalos de una hora. Los datos de aforos y lecturas de nivel corresponden a los recopilados en el año 2015.

En el análisis y caracterización de la red hidroclimatológica localizada en la subcuenca río Suratá, se describe la instrumentación, verificación de la calidad en los datos, análisis estadístico de las variables, caracterización del comportamiento hidroclimatológico y realización de curvas de calibración. Los análisis realizados son de acuerdo a los procedimientos que se llevan a cabo por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- para el estudio hidroclimatológico en Colombia. Finalmente se genera una guía que describe el procedimiento de recolección, procesamiento, cargue de datos a la plataforma de internet e intranet que dispone la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de Meseta de Bucaramanga –CDMB- .

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Sully Gomez Isidro, Ph.D. Ingeniera Civil. Tutor. Hector Amado Hernandez, Ingeniero Civil.

ABSTRACT

TITLE: SUPPORT THE ACTIVITIES THAT WERE DEVELOPED BY CDMB FOR OPERATION OF THE HYDROCLIMATOLOGICAL NETWORK AND PROCESSING OF THE INFORMATION IN SUB-BASIN STATIONS LOCATED IN THE SURATÁ RIVER *

AUTHOR: CRISTIAN CAMILO ZAPATA HERNANDEZ**

KEYWORDS: Hydroclimatology, Gauge, Sub-basin, Precipitation, Temperature, Calibration Curve, Suratá river.

DESCRIPTION:

The Autonomous Regional Corporation for the Defense of Bucaramanga Plateau -in its acronym CDMB- as environmental authority within of its jurisdiction, has as function, make processes analysis, monitoring, and management of environmental awareness and renewable natural resources by implementing a hydro-climatological network, which, has been, widely distributed in the area of its jurisdiction, which aims to carry out monitoring activities and characterization of hydro-climatological conditions, which allow evaluate the actions and decisions addressed to the sustainable use of natural renewable resources.

In compliance with the functions of monitoring and management of environmental knowledge, analysis of the hydro-climatological conditions, that has been detailed, of the Sub-basin of Suratá River, is carried out from, weather information captured and stored by two automatic weather stations, and information available of capacity and readings limnimetric level, collected through three seasons. The volume of meteorological information is registered from 2011 to 2015, in one hour intervals. Capacity data and level readings correspond to those collected in 2015.

In the analysis and characterization of the hydro-climatological network located on the Sub-basin of Suratá River, are describe, the instrumentation, verification of data quality, statistical analysis of the variables characterizing the behavior and performance of hydro-climatological calibration curves. Analyses are carried out according to the procedures established by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies -IDEAM- for hydro-climatological study in Colombia. Finally, a guide describes the procedure for collecting, processing, and uploading the data to the internet and intranet platform, that the Regional Autonomous Corporation for the Defense of -CDMB- Bucaramanga Plateau has available.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineerings. Civil Engineering School. Director: Eng. C. Ph.D. Sully Gomez Isidro. Tutor. Eng. Hector Amado Hernandez.

INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga -CDMB- es una entidad encargada de los procesos de ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos relacionados con el medio ambiente y recursos naturales renovables². Dicha entidad se encuentra organizada por medio de subdirecciones, las cuales se encargan de dar cumplimiento a las funciones anteriormente mencionadas. La subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio, tiene como función realizar los procesos de información y gestión del conocimiento ambiental, el cual se ejecuta mediante la implementación de una red de monitoreo hidroclimatológica compuesta por 20 estaciones climatológicas y 65 estaciones hidrométricas, localizadas dentro del área de jurisdicción y abarcando los municipios del Playón, Matanza, Rio Negro, Charta, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Suratá, Lebrija y Bucaramanga³.

La ejecución de las actividades de monitoreo hidroclimatológico y análisis de la información recopilada representa la base fundamental para la determinación de la disponibilidad hídrica, permitiéndose precisar los diferentes usos del agua, evaluar la frecuencia de eventos hidroclimatológicos extremos, causantes de movimientos en masa e inundaciones⁴. Así mismo, poner a disposición la información recopilada a las demás autoridades ambientales o entidades afines, con la finalidad de contribuir en la realización de una planificación ambiental direccionada al desarrollo sostenible y al óptimo aprovechamiento de los recursos naturales renovables.

² CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Plan Gestión Ambiental PGAR 2015-2031 Tomo I-II. Bucaramanga: CDMB. 2014. 335 p.

³ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Informe Anual Red Hidroclimatológica, Bucaramanga: CDMB. 2014. 89 p.

⁴SABAS, Carlos. BERRIO, Juan. Red hidroclimatológica administrada por la Universidad Tecnológica de Pereira. Trabajo de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería. 2011.315 p.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la práctica empresarial con la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB-, en el apoyo de actividades desarrolladas para el funcionamiento de la red hidro-climatológica y procesamiento de la información, en estaciones localizadas en la subcuenca del río Suratá.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apoyar la realización de informes de la red climatológica que realiza la empresa con el fin de ofrecer información meteorológica y reportes para el público que lo necesite.
- Analizar el comportamiento de los datos medidos en estaciones de la subcuenca del río Suratá, para disponer de información hidro-climática confiable.
- Calibrar las estaciones hidrométricas con información disponible, mediante la regresión en Excel de los datos obtenidos según los aforos de caudales y medición de niveles del río.
- Apoyar la elaboración de guías o manuales para el procesamiento y gestión de datos facilitándose el proceso de ingreso de nueva información, y ser presentada en las fuentes de información que la CDMB dispone.
- Definir series de tiempo para información hidroclimática recolectada y visualizarlas en bases de datos disponibles en la CDMB.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

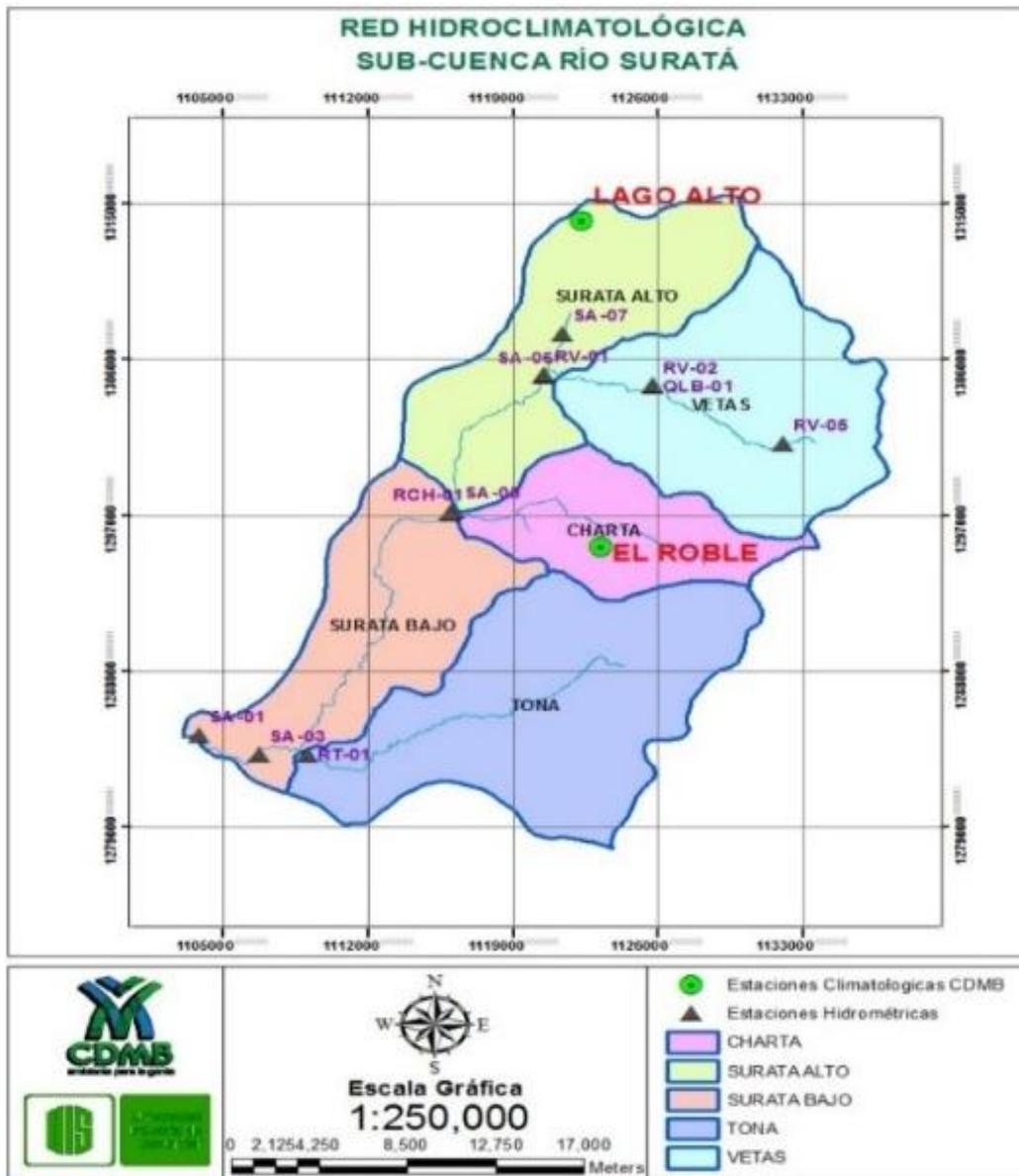
2.1. ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca río Suratá se encuentra localizada en el sector noroccidente y centro norte del área de Jurisdicción. Hidrológicamente está conformada por cinco microcuencas: río Vetas, río Suratá alto, río Charta, río Tona y río Suratá bajo, todos afluentes principales del río Suratá; la subcuenca posee una extensión total de 68,461 hectáreas las cuales ocupan relieves moderados a fuertemente escarpados o empinados.

2.2. ESTACIONES HIDROCLIMATOLÓGICAS SUBCUENCA RÍO SURATÁ

En la Ilustración 1, se muestra la red hidroclimatológica que se encuentra dentro de la subcuenca río Suratá, la cual, se compone por dos estaciones climatológicas y once estaciones hidrométricas.

Ilustración 1. Red hidroclimatológica sub-cuenca río Suratá.



Fuente: Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio –CDMB-.

En la Tabla 1, se muestra la información general de cada estación.

Tabla 1. Red hidroclimatológica subcuenca río Suratá

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS				
Código	Nombre	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m)	Inicio de operación
C2	Lago Alto	7°26'3.77" N 72°58'10.46" O	2702	20/01/2011
C3	El Roble	7°15'50.92" N 72°57'41.71" O	2270	09/03/2011
ESTACIONES HIDROMÉTRICAS				
Tipo limnimétricas				
SA-07	Uña de Gato	7° 22' 40.08" N 72° 58' 53.29" O	1770	23/09/2003
SA-06	Puente Panega	7° 21' 22.24" N 72° 59' 22.50" O	1652	16/09/1998
RT-01	Puente Tona	7° 09'29.77" N 73° 05' 36.86" O	878	14/10/1980
Puntos de Monitoreo				
RV-05	Borrero	7° 19' 13.41" N 72° 53' 6.85" O	2905	30/01/1997
RV-02	Río Vetas	7° 21' 1.64" N 72° 56' 31.12" O	2066	16/01/1997
LB-01	La Baja	7° 21' 2.52" N 72° 56' 31.12" O	2026	16/01/1997
RV-01	Puente Panega	7° 21' 22.24" N 72° 59' 22.50" O	1649	16/09/1998
SA-05	La Playa	7° 17' 7.09" N 73° 1' 44.42" O	1393	16/09/1998

Tabla 1. Continuación

RCH-01	La Playa RCH	7° 17' 2.29" N 73° 1' 50.59" O	1391	16/09/1998
SA-03	Bosconia	7° 09' 30.23" N 73° 06' 51.65" O	734	18/11/1998
SA-01	Bavaria	7° 10' 5.93" N 73° 08' 25.84" O	636	16/08/1988

Fuente: Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio –SOPIT–.

Las estaciones climatológicas Lago Alto y El Roble se localizan en las microcuencas río Suratá alto y río Charta respectivamente, tienen como función la captura y almacenamiento de los datos meteorológicos tales como precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, presión barométrica, radiación solar, entre otros⁵, la descarga de la información se realiza en periodos entre 1 a 2 meses.

Las estaciones hidrométricas se localizan en los ríos Suratá, Vetas, Charta y Tona, éstas se encuentran constituidas por dos tipos de estaciones, la primera es de tipo limnimétricas y la segunda son puntos de monitoreo. Tienen como función localizar la sección de aforo e ilustrar los niveles que presenta el río.

⁵ DAVIS INSTRUMENTS. Manual de WeatherLink 5.9.0 [En línea]. [Hayward, U.S.A]: Agosto de 2010. [Citado 21 de Febrero de 2016] Disponible en: https://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-210_GSG_06510_6555.pdf.

2.3. INSTRUMENTACIÓN DE LAS ESTACIONES

De conformidad con la Tabla 1 se describe la instrumentación para cada tipo de estación.

2.3.1. Estación Climatológica: Este tipo de estación de referencia Wireless Davis Vantage PRO2 involucran y articulan varios sensores que capturan y almacenan las variables meteorológicas. Los instrumentos que comprende ésta estación de monitoreo climatológico se describen a continuación:

- **Pluviómetro automático:** Este sistema permite la recolección de la precipitación y medirla con ayuda de una mecanismo interno. No hace falta descargarla luego de cada precipitación.

- **ISS:** Conjunto de sensores integrados, radiación solar, temperatura y humedad ambiente, transmite de manera inalámbrica los datos capturados a la estación base.

- **Anemómetro y veleta:** Toman datos del viento, intensidad, dirección de ráfagas.

- **Consola central y datalogger:** Muestra y almacena datos aún estando desconectada de la computadora central.

- **Unidad de comunicación:** Transmite datos a PC, Palms e Internet.

- **Panel solar:** Brinda total autonomía en lugares de difícil acceso a corriente eléctrica.
- **Soportes rígidos:** Estos soportes están contruidos en materiales resistentes a la interperie y brindan un excelente agarre a la central.

Como características principales de la estación automática Davis Vantage PRO2 se tiene la transmisión inalámbrica a una distancia de hasta 300 metros, pudiéndose aumentar mediante repetidores inalámbricos, los cuales permiten instalar las estaciones en zonas de difícil acceso, así mismo la estación base tiene una capacidad de almacenamiento de 2560 registros. La CDMB tiene programado la captura de datos en intervalos de 60 minutos, por lo cual según la capacidad mencionada se llega a su límite de almacenamiento a los 106 días⁶.

2.3.2. Estación Hidrométrica: Las estaciones de tipo limnimétricas tienen como instrumento de medición directa el Limnímetro, el cual consiste en una regla graduada en tramos de un metro de longitud asegurados a un listón de madera o riel y anclados sobre una superficie fija que los soporta. Los puntos de monitoreo no disponen de miras limnimétricas por lo cual sólo son secciones o tramos para la ejecución de aforos líquidos que cumplen con los requerimientos tales como pendiente estable, libre de crecimiento de vegetación, flujo aproximadamente uniforme y nivel de turbulencia bajo.

Para la realización de los aforos, se emplea el método de **VADEO**, el cual consiste en medir las revoluciones o velocidad de la corriente en diferentes puntos, de forma

⁶ DAVIS INSTRUMENTS. Manual de la Consola Vantage Pro2™ [En línea]. [Hayward, U.S.A]: Mayo de 2012. [Citado 17 de Marzo de 2016] Disponible en: https://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-240_IM_06312.pdf

vertical y a lo largo de la sección de aforo. Esto se hace a través del moliente, que al recibir el empuje horizontal de las líneas de flujo, mide el número de revoluciones en un tiempo determinado.

2.4. PERIODO DE ANÁLISIS

Para las estaciones climatológica automática Lago Alto y El Roble, se tiene como periodo de análisis de la información, los datos recopilados en intervalos de una hora, desde su inicio de operación, y teniendo en consideración los años comprendidos entre 2011 y 2015. Para las tres estaciones limnimétricas, se considera los datos disponibles de aforos y lecturas de nivel recopilados en el año 2015.

3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

El presente artículo pretende realizar el análisis de los datos meteorológicos y de aforos disponibles, mediante la implementación de procedimientos y métodos de estudios elaborados de acuerdo al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-. Para la realización de análisis de datos meteorológicos y realización de curvas de calibración, se muestra los temas y métodos utilizados para su determinación.

3.1. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICOS.

En la elaboración del análisis pluviométrico se menciona, la estimación de la calidad en los datos, fallas en el funcionamiento de las estaciones climatológicas y métodos de análisis de la variable de precipitación. Teniéndose como finalidad, describir el marco conceptual y procedimental llevado a cabo para su análisis y caracterización.

3.1.1. Estimación de la calidad en los datos: Para la estimación de la calidad de los datos recopilados, se tiene como herramienta de análisis el software Microsoft Excel, el cual permite definir el valor porcentual de datos disponibles mediante la confrontación de datos faltantes y el total de datos almacenados, Para ello se muestra la ecuación 1.

$$\%D. D = \frac{T.D - D.F}{T.D} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

%D.D = Valor porcentual de Datos Disponibles.

T.D = Número total de datos, se realiza mediante el comando **+CONTAR(celda inicial : celda final)**.

D.F= Dato faltante o Dato erróneo.

En la depuración de los datos recopilados, se realiza la completación de aquellos vacíos en las series de datos, con un número definido como **(-999)**, de ésta manera se permite identificar y contabilizar los datos faltantes en MS Excel, mediante el comando **+CONTAR.SI (rango, criterio)**, se tiene como criterio, valores “>=0”.

Para la determinación del valor porcentual de datos disponibles se muestra el Anexo A, el cual es un formato Excel que contiene la información meteorológica recopilada en el periodo comprendido entre el año 2011- 2015 de las estaciones Lago Alto y El Roble.

Se debe resaltar que las estaciones no cuentan con calibración y que la confiabilidad se estima según los ajustes periódicos de las variables meteorológicas, realizados en el momento de programar la consola Davis, cada vez que se lleva a cabo el mantenimiento preventivo y correctivo por el profesional encargado.

3.1.2. Fallas en el funcionamiento de las estaciones climatológicas: Las fallas en el funcionamiento de las estaciones conllevan a que se generen datos faltantes en las series o que se almacenen datos erróneos, por lo cual, se hace necesario la identificación de las causas y definir las acciones que se deben tener en cuenta en los procesos de recolección, mantenimiento, y prevención de los componentes de la estación, teniéndose como finalidad, minimizar las diferentes fallas y mejorar la

calidad en la información, a continuación se muestran las fallas en los equipos de monitoreo climatológicos:

- **Fallas en el suministro eléctrico:** Se presentan por fallos en el suministro eléctrico bien sea por parte de las baterías o por el controlador de carga, el controlador de carga es el que distribuye la corriente que viene del panel, y controla los voltajes de manera adecuada. La falla se identifica cuando la consola se encuentra apagada.

- **Fallas en los sensores:** La falla en los sensores se debe a que los materiales que componen a la estación no cuentan con una impermeabilización y protección ante el potencial de condensación del vapor de agua dentro de la estación. La falla se identifica cuando las variables meteorológicas recopiladas por la consola Vantage PRO2 son erradas o sobrepasan los rangos establecidos para las condiciones climatológicas de la zona.

- **Destrucción del cableado:** Las estaciones constantemente presentan problemas con el cableado debido a que éstos son destruidos por diferentes tipos de insectos, por lo cual se procura rociar veneno en la base de la estación.

- **Obstrucción en la entrada de agua lluvia:** La estación cuenta con un recolector de agua el cual conecta a un sistema que permite cuantificar la precipitación. La falla se presenta cuando se produce la obstrucción del orificio del recolector, esto es debido a suciedades, eses de aves, etc. Ocasionando que la estación transmita datos errados de precipitación. Ésta falla es de las más frecuentes y se identifica cuando se realiza el mantenimiento preventivo o

cuando se compara con otras estaciones los valores de precipitación.

3.1.3. Análisis de la precipitación: El análisis de la precipitación se subdivide por escalas de acumulación de lluvia, las cuales se mencionan:

- **Precipitación mensual:** La precipitación mensual es el valor acumulado de las precipitaciones diarias en un mes.

- **Precipitación media mensual:** Representa el valor promedio de las precipitaciones mensuales en un periodo de tiempo determinado. Las precipitaciones mensuales a promediar deben pertenecer a un mismo mes, es decir se promedian las precipitaciones de enero para los años que se encuentren en consideración, lo anterior se realiza sucesivamente para los doce meses que tiene el año. En el presente artículo se muestra un periodo comprendido entre los años 2011 y 2015, los cuales, para los 12 meses de cada año se realizó el promedio de la precipitación mensual, teniendo en cuenta el criterio de que los registros a promediar pertenecen a un mismo mes. El IDEAM, hace referencia al presente estudio como el promedio multianual de las precipitaciones mensuales.

- **Precipitación anual:** Representa el valor acumulado de las precipitaciones mensuales en un año. El presente proyecto muestra cinco años de registros de precipitación anual.

- **Precipitación máxima anual:** Representa el valor más alto de precipitación. En el presente proyecto se analizaron las precipitaciones máximas en intervalos de 24 horas o máximas diarias realizados para cada año en las estaciones Lago Alto y El Roble durante el periodo comprendido entre el año 2011 y 2015.

Los datos meteorológicos utilizados para el presente análisis se muestran en formato Excel en el Anexo B.

3.1.4. Análisis de intensidad de lluvias: El presente estudio pretende caracterizar cuales han sido los eventos extremos de intensidad durante el periodo comprendido entre el 2011 y 2015, así mismo clasificar los eventos lluviosos según su distribución temporal, teniéndose como objetivo una contextualización general del tipo de lluvia predominante en la subcuenca río Suratá. Los datos de intensidad analizados en el presente capítulo se muestran en formato Excel en el Anexo C. La intensidad se puede definir como el volumen de precipitación o altura equivalente de precipitación por unidad de tiempo (mm/hr) y se expresa como $I = P/T_d$, donde P= Lámina de agua lluvia (mm) y T_d = Duración (horas)⁷. En el análisis se menciona:

- **Intensidad máxima anual:** Su determinación se realiza mediante la evaluación de los eventos lluviosos ocurridos en un día, dividido por su respectiva duración. Para efecto del presente estudio, se escoge la máxima intensidad del día, luego se procede a escoger la máxima en el mes y por último se escoge la intensidad máxima de los 12 meses, éste procedimiento se realiza para todos los años en los que se cuenta con registro, los cuales son desde el 2011 hasta el 2015.

⁷ VEN TE, Chow. Hidrología Aplicada, Bogotá D.C.: NOMOS S.A., 2000. 76 p.

- **Clasificación de la intensidad de lluvia:** En la Tabla 2. Se dispone de unos rangos estandarizados dispuestos por el IDEAM y mencionados por la Corporación Autónoma de Caldas.

Tabla 2. Clasificación de la Intensidad de lluvia media en una hora.

INTENSIDAD	ACUMULACIÓN EN UNA HORA
DEBIL	entre 0,1 y 2 mm
MODERADO	entre 2,1 y 15 mm
FUERTE	entre 15,1 y 30 mm
MUY FUERTE	entre 30,1 y 60 mm
TORRENCIAL	más de 60 mm

Fuente: CORPCALDAS*

3.2. ANALISIS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA, MÍNIMA MEDIA Y PROMEDIO⁸.

La temperatura máxima media representa el valor más alto que se registra durante el día. Generalmente se relaciona con la temperatura que predomina entre las 12 y las 15 horas, y para la temperatura mínima media se tiene como valor más bajo, presentado generalmente en las horas de la madrugada.

⁸ HURTADO, Gonzalo. Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura máxima media para las regiones hidroclimáticas de Colombia. Bogotá D.C.: Subdirección de Meteorología-IDEAM. 2014. 61 p.

*CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CALDAS

Al promediar las temperaturas máximas diarias y mínimas diarias se obtiene la temperatura máxima media mensual y la temperatura mínima media mensual respectivamente, el promedio de éstas, es la temperatura máxima media anual y mínima media anual. La temperatura promedio representa como su nombre lo indica el promedio de las lecturas de temperatura tomadas durante un tiempo. Al promediarse todas las lecturas de temperatura registradas en un año, se obtiene la temperatura promedio anual.

➤ **TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA Y MÍNIMA MEDIA MENSUAL**

Para caracterizar el comportamiento de la temperatura máxima y mínima media mensual en el periodo comprendido entre el año 2011 y 2015, se realiza el promedio de las temperaturas máximas medias y mínimas media mensual pertenecientes a un mismo mes, teniéndose que promediar 5 lecturas de temperatura para el mes de enero, ya que son 5 años de datos en consideración, el procedimiento se realiza sucesivamente para los 12 meses del año.

La importancia de las temperaturas promedios radica en que se encuentran muy relacionados con la ocurrencia de los fenómenos de variabilidad climática El Niño y La Niña. El primero está asociado con el incremento de las temperaturas y el segundo con la disminución de las mismas. La lecturas de temperatura del periodo comprendido entre el año 2011-2015 se muestran en formato Excel en el Anexo D.

3.3. CURVA DE CALIBRACIÓN⁹.

Una curva de calibración es la representación gráfica de las variaciones del caudal en la sección transversal de un río (Q), en función de las lecturas de mira (H). En la realización de las curvas de calibración se adoptó el método logarítmico el cual tiene como ecuación:

$$Q = k (H)^n \quad (2)$$

Donde K y n son constantes, los valores de estas constantes se hallan haciendo una regresión por medio de MS Excel. Para el presente estudio se tomaron los datos de aforos realizados en el año 2015 en estaciones hidrométricas de tipo limnimétricas mostradas en la Tabla 3, en la cual se identifica también, la microcuenca, corriente y municipio en donde se encuentran localizadas.

Tabla 3. Estaciones hidrométricas con mira limnimétricas

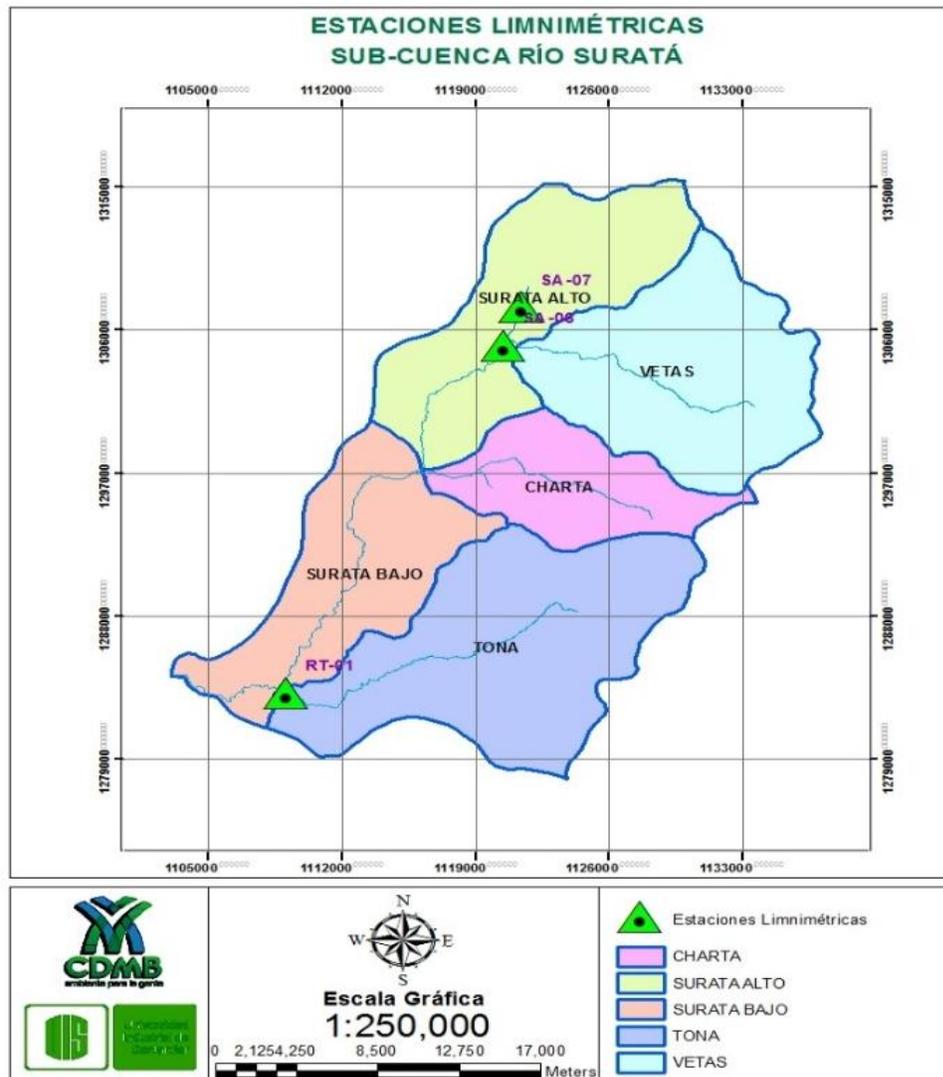
Estaciones Hidrométricas con LM				
Código	Nombre	Micro-cuenca	Corriente	Municipio
SA-07	Uña de Gato	Suratá Alto	Rio Suratá	Suratá
SA-06	Puente Panega	Suratá Alto	Rio Suratá	Suratá
RT-01	Puente Tona	Río Tona	Río Tona	Tona

Fuente: Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio –SOPIT-.En La

⁹ CONTRERAS, Claudia; NIÑO, Raul. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia. 2007. 91 p.

Ilustración 2 se muestra las estaciones limnimétricas localizadas en la subcuenca del río Surata.

Ilustración 2. Estaciones Limnimétricas subcuenca río Surata.



Fuente: Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio –SOPIT-.

4. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS METEOROLÓGICOS Y CURVAS DE CALIBRACIÓN

4.1. ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD EN LOS DATOS

En la Tabla 4 y 5 se muestra los resultados del valor porcentual de datos disponibles en la estación Lago Alto y El Roble.

Tabla 4. Valor porcentual de datos disponibles. Estación Lago Alto

ESTACIÓN LAGO ALTO	PRECIPITACIÓN	VEL. VIENTO	DIR. VIENTO	TEMPERATURA	BRILLO SOLAR	HUM. RELATIVA
%DATOS VÁLIDOS 2011-2015	95.10	95.14	95.13	95.14	95.14	95.14

- El año con el valor porcentual de datos disponibles más bajo fue el 2011 con 88.32% en la variable de precipitación.

Tabla 5. Valor porcentual de datos disponibles. Estación El Roble

ESTACIÓN EL ROBLE	PRECIPITACIÓN	VEL. VIENTO	DIR. VIENTO	TEMPERATURA	BRILLO SOLAR	HUM. RELATIVA
%DATOS VALIDOS 2011-2015	88.82	93.89	93.59	93.89	93.89	93.89

- El año con el valor porcentual de datos disponibles más bajo fue el 2012 con 74.86% en la variable de precipitación.

Como resultado se obtuvo un valor porcentual de datos disponibles no menor a **95.09%** para la estación Lago Alto y un valor porcentual no menor a **88.82%** para la estación El Roble. Con base a éstos porcentajes se realizaron los análisis y caracterización del comportamiento climatológico.

4.2. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

ESTACIÓN LAGO ALTO

- **PRECIPITACIÓN MENSUAL**

En la Tabla 6, se muestra la precipitación mensual y la precipitación anual en la estación Lago Alto 2011-2015.

Tabla 6. Precipitación mensual y anual. Estación Lago Alto

ESTACION AUTOMATICA CLIMATOLOGICA LAGO ALTO- PRECIPITACION MENSUAL					
2011-2015 [mm]					
AÑO	2011	2012	2013	2014	2015
ENERO	DF	24.35	12.18	19.27	6.07
FEBRERO	122.89	2.51	89.11	42.36	68.77
MARZO	170.67	187.14	62.43	38.03	129.19
ABRIL	653.37	388.9	288.7	201.6	146.46
MAYO	479.87	216.27	308.77	212.27	132.02
JUNIO	163.23	125.44	87.55	21.51	36.50

Tabla 6. Continuación

JULIO	156.58	43.86	10.9	28.9	53.49
AGOSTO	133.46	249.06	223.36	95.14	48.71
SEPTIEMBRE	189.91	227.8	224.38	112.68	116.8
OCTUBRE	326.12	408.32	173.13	491.61	322.21
NOVIEMBRE	316.02	148.48	139.35	156.6	189.12
DICIEMBRE	121.25	5.80	73.07	123.34	DF
TOTAL ANUAL [mm]	2833.37	2027.93	1692.93	1543.31	1250.10

*DF: Dato Faltante

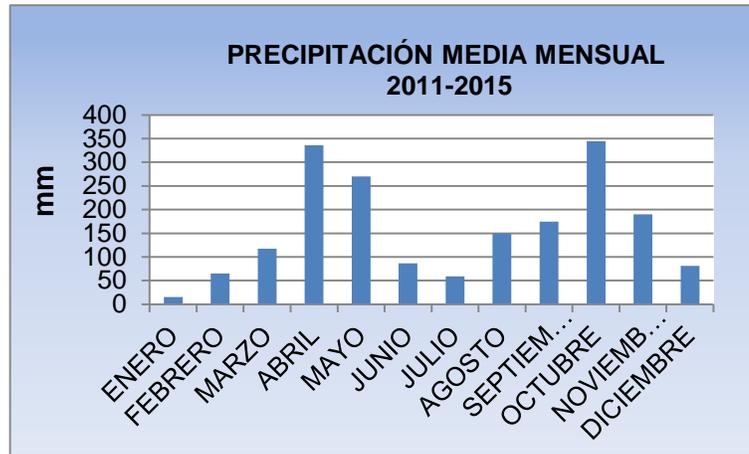
➤ PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL

Para la caracterización del comportamiento de los valores de la Tabla 6, se realiza el análisis de la precipitación media mensual en los años 2011-2015, teniéndose como resultado la Tabla 7, así mismo se representa mediante el Gráfico 1 el comportamiento de la precipitación media mensual.

Tabla 7. Precipitación media mensual. Estación Lago Alto

Precipitación media mensual 2011-2015 [mm]											
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
15.47	65.13	117.49	335.81	269.84	86.85	58.75	149.95	174.31	344.28	189.91	80.87

Gráfico 1. Precipitación media mensual. Estación Lago Alto

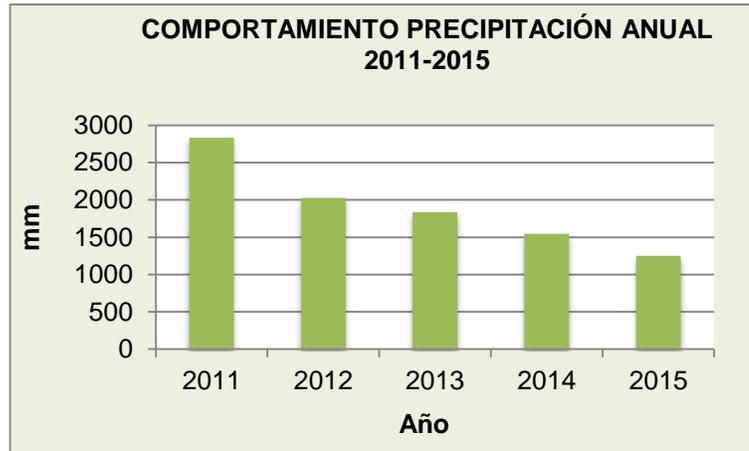


Se puede evidenciar en el Gráfico 1 el ciclo bimodal característico de la región andina, el cual presenta dos periodos de alta y baja pluviosidad. El primero inicia a partir del mes de Marzo alcanzando su máximo crecimiento en Abril con un registro medio de **335.81 mm**, a partir del cual empieza a decrecer hasta el mes de Junio, conservándose éste valor mínimo casi constante hasta llegar al mes de agosto en el cual, empieza su crecimiento nuevamente hasta alcanzar su máximo valor en Octubre con un registro medio de **344.28 mm**, mes en el que empieza a decrecer hasta el mes de febrero. Éste comportamiento bimodal es explicado por el efecto de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el cual se encuentra localizada a lo largo del eje ecuatorial y pasa dos veces por el país, generando las dos épocas lluviosas, ó el ciclo bimodal de las lluvias¹⁰.

¹⁰ GUZMÁN, D. Ruíz, J. F. Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través de componentes principales (ACP). Bogotá D.C.: Subdirección de Meteorología-IDEAM. 2014. 55 p.

➤ PRECIPITACIÓN ANUAL

Gráfico 2. Comportamiento precipitación anual. Estación Lago Alto



En el Gráfico 2 se observa la precipitación anual entre el año 2011 y 2015, en donde se tiene un comportamiento descendente. La máxima precipitación anual se encuentra en el año 2011 con **2833.37 mm**, el cual posiblemente se debe a que fue un año invernal con presencia del fenómeno de la Niña. La mínima precipitación anual se encuentra en el año 2015 con **1250.10 mm**, debido a que fue un año en donde tuvo presencia el fenómeno de El Niño. En comparación con los años 2011 y 2015 la precipitación anual ha tenido una reducción del 56% aproximadamente.

➤ PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL

En la Tabla 8, se muestra la precipitación máxima anual registrada en la estación Lago Alto, durante el periodo comprendido entre el año 2011 y 2015.

Tabla 8. Precipitación máxima anual. Estación Lago Alto

AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL [24 HORAS] [mm]
2011	67.8
2012	64.52
2013	78.49
2014	66.54
2015	47.49

La precipitación máxima anual en 24 horas se presentó en el año 2013 más exactamente en el mes de abril con un valor de **78.49 mm**.

ESTACIÓN EL ROBLE

➤ PRECIPITACIÓN MENSUAL

En la Tabla 9, se muestra la precipitación mensual y anual en la estación El Roble 2011-2015.

Tabla 9. Precipitación mensual y anual. Estación El Roble

ESTACION AUTOMATICA CLIMATOLOGICA EL ROBLE- PRECIPITACION MENSUAL 2011-2015 [mm]					
AÑO	2011	2012	2013	2014	2015
ENERO	DF	DE	23.09	36.40	49.40
FEBRERO	DF	3.04	133.49	74.00	91.60
MARZO	188.42	DE	100.75	50.80	131.80
ABRIL	495.65	DE	264.04	250.40	222.40
MAYO	347.08	22.31	186.55	149.40	70.80

Tabla 9. Continuación

JUNIO	85.75	43.39	31.71	4.80	33.60
JULIO	45.66	28.12	65.71	6.00	55.00
AGOSTO	96.27	144.15	110.14	50.40	13.20
SEPTIEMBRE	119.02	118.02	172.62	101.00	48.00
OCTUBRE	114.59	282.57	122.34	253.40	177.60
NOVIEMBRE	13.50	120.32	143.72	78.80	160.00
DICIEMBRE	2.00	58.37	56.20	109.40	3.20
TOTAL ANUAL [mm]	1507.94	DE	1410.36	1164.80	1056.60

***DF**: Dato Faltante ***DE**: Dato Errado

En los registros pluviométricos se puede observar que en los meses de enero y febrero del año 2011 no se registraron datos de precipitación por lo cual se hace referencia a través de las siglas **DF**, de igual manera se muestra las siglas **DE** que tienen por significado Dato Errado, y se identifica cuando los registros pluviométricos no se encuentran coherentes en comparación con estaciones que se localizan relativamente cerca o dentro de la misma cuenca hidrográfica, así mismo la precipitación anual del año 2012 se denota como Dato Errado (**DE**) debido a que no se dispone de los registros de precipitación mensual suficientes para su determinación.

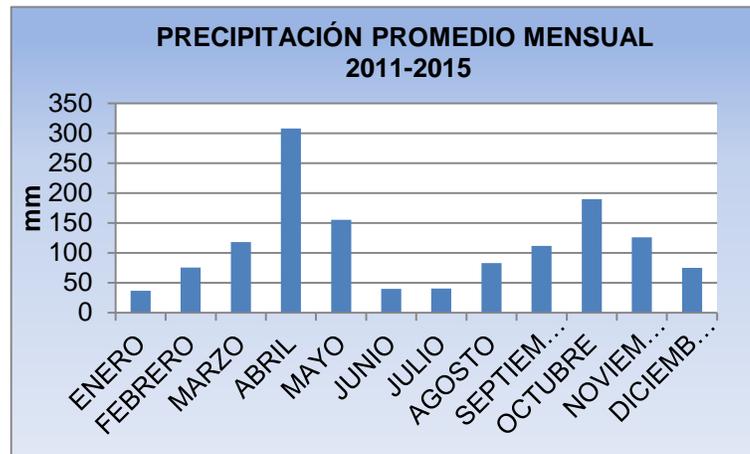
➤ PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL

Para la caracterización del comportamiento de los valores de la Tabla 9, se realiza el análisis de la precipitación media mensual en los años 2011-2015, teniéndose como resultado la Tabla 10, así mismo se representa mediante el Gráfico 3 el comportamiento de la precipitación media mensual

Tabla 10. Precipitación media mensual. Estación El Roble

Precipitación media mensual 2011-2015 [mm]											
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
36.30	75.53	117.94	308.12	155.23	39.85	40.10	82.83	111.73	190.10	125.71	74.66

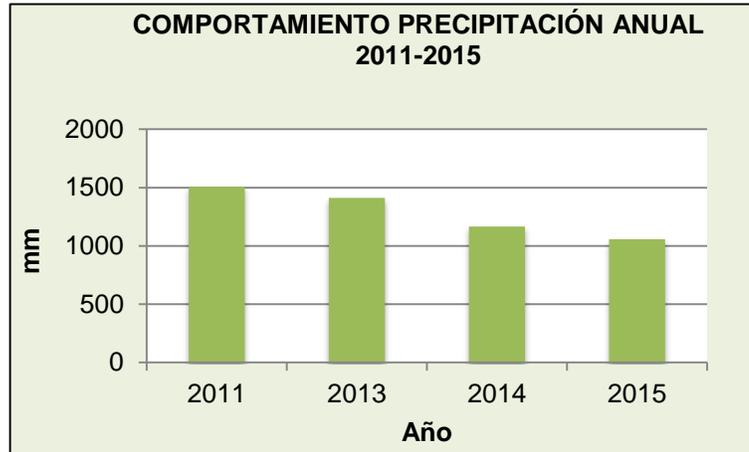
Gráfico 3. Precipitación media mensual. Estación El Roble



Realizándose un análisis de los datos promedios mensuales entre los años 2011 y 2015, se observa claramente el ciclo bimodal, en donde se presentan dos periodos de alta y baja pluviosidad. Para el primer y segundo ciclo, la pluviosidad máxima se presentó en los meses de Abril y Octubre con valores medios de **308.12 mm** y **190.10 mm** respectivamente.

➤ **PRECIPITACIÓN ANUAL**

Gráfico 4. Comportamiento precipitación anual. Estación El Roble



En el Gráfico 4, se observa la precipitación anual desde el año 2011 hasta 2015, excluyéndose el año 2012 debido a que no se dispone de los registros de precipitación mensual suficientes para su determinación. El comportamiento tiene una tendencia descendente. La máxima precipitación anual se encuentra en el año 2011 con **1507.94 mm** el cual posiblemente se debe a que fue un año invernal con presencia del fenómeno de la Niña. La mínima precipitación anual se encuentra en el año 2015 con **1056.60 mm**, debido a que fue un año en donde tuvo presencia el fenómeno de El Niño. En comparación con los años 2011 y 2015 la precipitación anual ha tenido una reducción del 30% aproximadamente.

➤ **PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL**

En la Tabla 11, se muestra la precipitación máxima anual registrada en la estación El Roble, durante el periodo comprendido entre el año 2011 y 2015.

Tabla 11. Precipitación máxima anual. Estación El Roble

AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL [24 HORAS] [mm]
2011	80.51
2012	41.14
2013	50.78
2014	35.40
2015	45.00

La precipitación máxima anual en 24 horas se presentó en el año 2011 más exactamente en el mes de abril con un valor de **80.51 mm**.

4.3. ANÁLISIS DE INTENSIDAD DE LLUVIAS

En la Tabla 12 se muestra las intensidades máximas anuales registradas en las estaciones Lago Alto y El Roble.

Tabla 12. Intensidad máxima anual.

AÑO	ESTACIÓN	
	LAGO ALTO	EL ROBLE
	INTENSIDAD MÁXIMA ANUAL [mm]	INTENSIDAD MÁXIMA ANUAL [mm]
2011	22.10	23.88
2012	15.24	18.54
2013	19.62	19.31
2014	12.57	14.50
2015	15.49	18.20

En la Tabla 12, se observa que la intensidad máxima anual se registra en el año 2011 con valores de **22.10** y **23.88 mm/hr**, correspondientes a las estaciones Lago Alto y El Roble respectivamente, el mes en que ocurrieron estos eventos máximos fue en Marzo para las dos estaciones climatológicas, y se debe a que es un mes que se encuentra dentro del primer periodo lluvioso del año. Los eventos máximos se localizaron en el año 2011 debido al periodo invernal que predominó en aquel momento.

➤ **CLASIFICACIÓN DE LA LLUVIA SEGÚN SU INTENSIDAD**

Se clasifica los eventos lluviosos según la intensidad, teniendo como resultados unos valores porcentuales que representan el tipo de lluvia predominante en la subcuenca.

ESTACIÓN LAGO ALTO: La estación Lago Alto localizada en la microcuenca Suratá Alto presenta una distribución porcentual de las intensidades con valores de **61.54%** para las lluvias con intensidad **DEBIL** (<2mm/hr), **37.68%** para lluvias con intensidades **MODERADAS** (2,1-15 mm/hr) y **0.78%** para lluvias con intensidad **FUERTE** (15.1-30 mm/hr). No se presentaron lluvias muy fuertes o torrenciales.

ESTACIÓN EL ROBLE: La estación El Roble localizada en la microcuenca Charta presenta una distribución porcentual de las intensidades con valores de **69.38%** para las lluvias con intensidad **DEBIL** (<2mm/hr), **29.93%** para lluvias con intensidades **MODERADAS** (2.1-15 mm/hr) y **0.69%** para lluvias con intensidad **FUERTE** (15.1-30 mm/hr). No se presentaron lluvias muy fuertes o torrenciales.

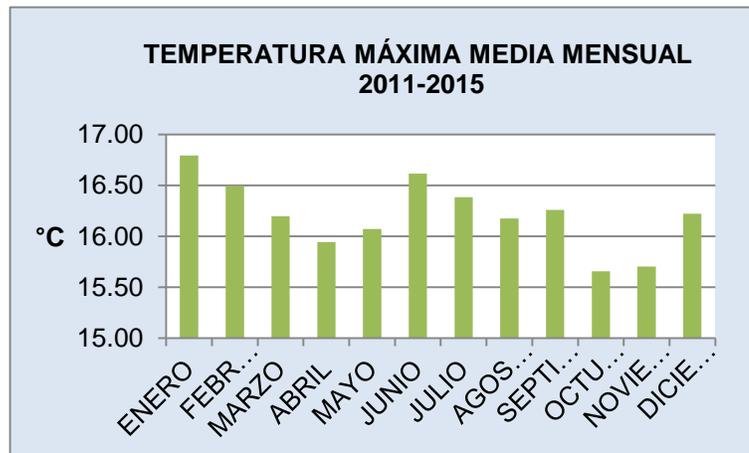
4.4. ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA, MÍNIMA MEDIA Y PROMEDIO ANUAL.

ESTACIÓN LAGO ALTO

➤ Temperatura máxima media y mínima media mensual

En los Gráfico 5 y 6, se muestra la temperatura máxima media mensual y mínima media mensual, tomándose como registros los años 2011 al 2015.

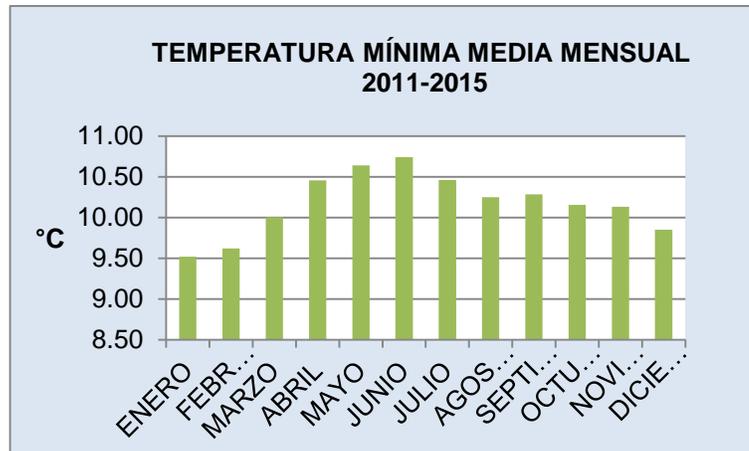
Gráfico 5. Temperatura máxima media mensual. Estación Lago Alto



Según el Gráfico 5 el comportamiento de la temperatura máxima media mensual en la Estación Lago Alto, es del tipo bimodal aproximadamente, es decir, se presentan dos períodos con temperaturas máximas medias altas y dos con temperaturas máximas medias bajas, durante el periodo comprendido entre 2011-2015. El primer período de temperaturas máximas medias altas, ocurre en enero y marzo con máximo en enero con 16.8°C y el segundo, durante junio y septiembre,

con máximo en el mes de junio con 16.62°C. La temperatura máxima media mensual tiene un comportamiento inverso con respecto a la lluvia.

Gráfico 6. Temperatura mínima media mensual. Estación Lago Alto



Según el Gráfico 6 el régimen de temperatura mínima media de la estación Lago Alto, es del tipo monomodal, es decir, se presenta un periodo de mínimos medios y otro de máximos medios durante el periodo comprendido entre 2011-2015. El periodo de mínimas temperaturas se presenta entre noviembre y marzo, registrándose los menores valores en el mes de enero con 9.52°C y el periodo cuando la temperatura mínima media registra los valores más altos se encuentra entre abril y octubre, con máximos en los meses de mayo, junio, y julio con valores cercanos a los 10.5°C.

- **Estimación de la tendencia de la temperatura máxima media, mínima media y promedio anual.**

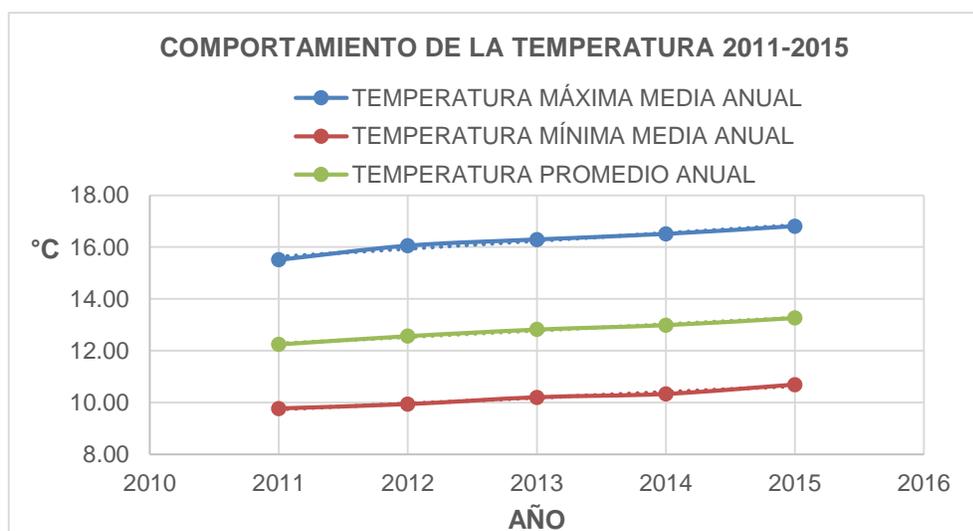
En la Tabla 13 se observa que desde el año 2011 al 2015 las temperaturas máxima media, mínima media y promedio tuvieron un incremento del 1.3 °C, 0.92°C y 1.02°C respectivamente.

Tabla 13. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual.

AÑO	TEMP MÁX MEDIA ANUAL [°C]	TEMP MÍN MEDIA ANUAL [°C]	TEMP PROMEDIO ANUAL [°C]
2011	15,51	9.77	12.24
2012	16,05	9.94	12.57
2013	16,29	10.20	12.82
2014	16,51	10.33	12.99
2015	16,81	10.69	13.26

Para la interpretación de los valores de temperatura se muestra el Gráfico 7.

Gráfico 7. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual. Estación Lago Alto



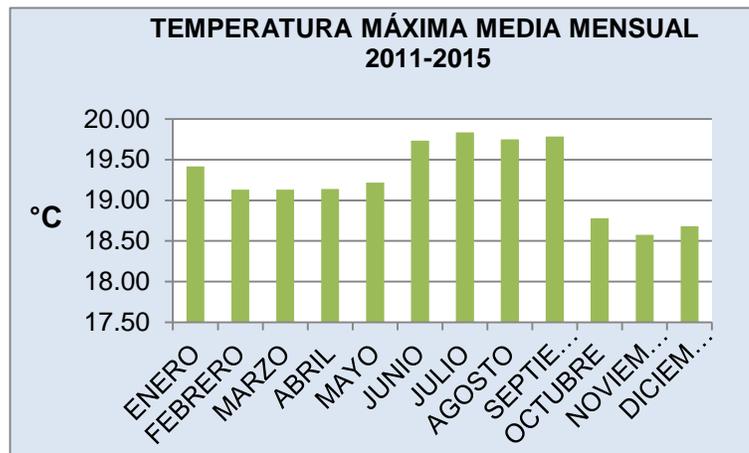
Según el Gráfico 7 se observa que a temperatura máxima media, mínima media y promedio presenta una tendencia creciente, con incrementos similares.

ESTACIÓN EL ROBLE

➤ Temperatura máxima media y mínima media mensual

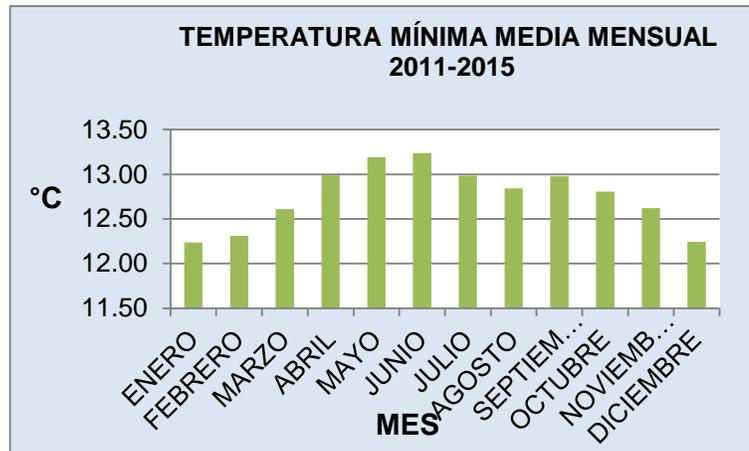
En los Gráfico 8 y 9, muestra la temperatura máxima media mensual y mínima media mensual, tomándose como registros los años 2011 al 2015.

Gráfico 8. Temperatura máxima media mensual. Estación EL Roble



Según el Gráfico 8 el comportamiento de la temperatura máxima media mensual en la estación El Roble, es de tipo bimodal aproximadamente, es decir, presenta dos periodos de temperatura máxima medias altas, el primer periodo ocurre en el mes de enero con máximo de 19.42°C y el segundo, durante junio y septiembre, con máximo en el mes de julio con 19.84°C. La temperatura se mantiene aproximadamente constante en el periodo de febrero a mayo, con oscilaciones no mayores a 0.3°C.

Gráfico 9. Temperatura mínima media mensual. Estación El Roble



El Gráfico 9 muestra un régimen de temperatura mínima en la estación El Roble, del tipo monomodal, es decir, se presenta un periodo de mínimos y otro de máximos durante el periodo comprendido entre 2011-2015. El periodo de mínimas temperaturas se presenta entre noviembre y febrero, registrándose los menores valores en el mes de enero con 12.24°C y el periodo cuando la temperatura mínima media registra los valores más altos se encuentra entre marzo y octubre, con máximos en los meses de mayo, junio con valores de 13.19°C y 13.24°C respectivamente.

- **Estimación de la tendencia de la temperatura máxima media, mínima media y promedio anual.**

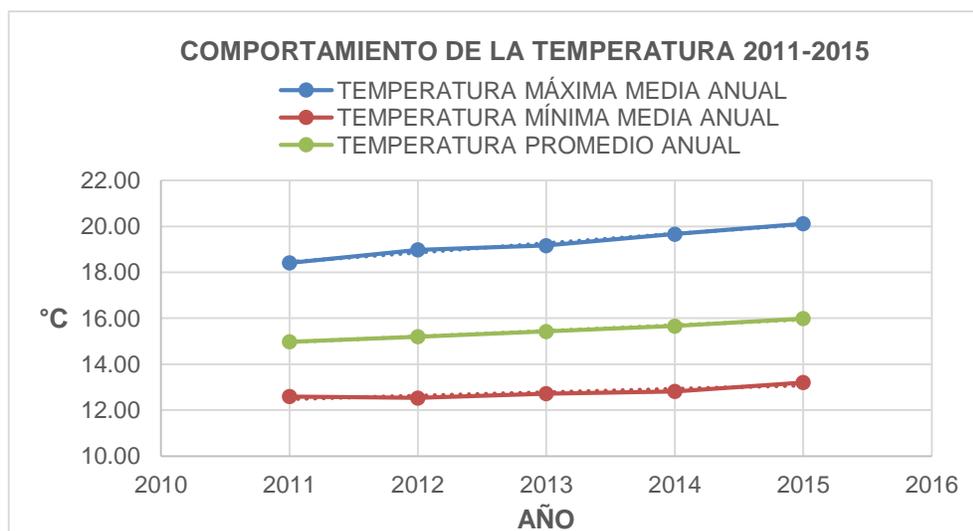
Se observa en la Tabla 14 que desde el año 2011 al 2015 la temperatura máxima, mínima y promedio anual, tuvieron un incremento del 1.7°C , 0.61°C y 1.01°C respectivamente.

Tabla 14. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual.

AÑO	TEMP MÁX MEDIA ANUAL [°C]	TEMP MÍN MEDIA ANUAL [°C]	TEMP PROMEDIO ANUAL [°C]
2011	18,41	12.60	14.98
2012	18,98	12.53	15.20
2013	19,17	12.72	15.43
2014	19,67	12.82	15.66
2015	20,11	13.20	15.99

Para la interpretación de los valores de temperatura se muestra el Gráfico 10.

Gráfico 10. Temperatura máxima media, mínima media y promedio anual. Estación El Roble.



En términos generales, durante los años analizados (2011-2015), la temperatura máxima media, mínima media y promedio anual en la estación El Roble presenta, una tendencia creciente. Realizándose una comparación de los parámetros en

estudio se puede evidenciar que los incrementos desde el año 2011 son dispares o no tienen una similitud.

4.5. CURVAS DE CALIBRACIÓN EN ESTACIONES LOCALIZADAS EN LA SUBCUENCA RÍO SURATÁ.

4.5.1. Curva de calibración estación SA-07 Uña de Gato: Los datos que se utilizaron para la creación de la curva de calibración son los que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Dato de aforos SA-07 Uña de Gato

Fecha	Hora Inicial	Caudal [m ³ /s]	Nivel [m]
15/07/2015	11:35	0.5884	0.28
20/08/2015	09:00	0.5474	0.25
09/09/2015	09:30	0.4237	0.23
07/10/2015	11:05	0.3306	0.22
04/11/2015	10:05	1.5859	0.5

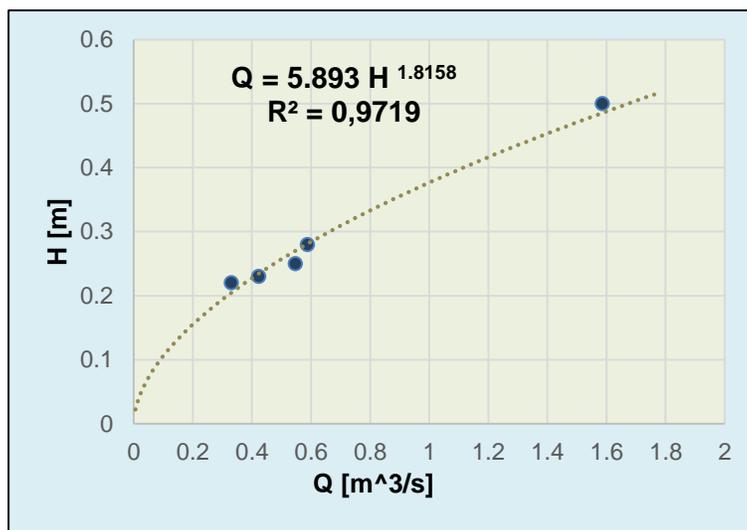
Fuente: Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio –CDMB-.

La curva de calibración que se obtuvo se muestra en la Gráfica 11, el cual tuvo como función la Ecuación 3:

$$Q = 5.893(H)^{1.8158} \quad \text{Ec. 3}$$

Con una coeficiente de correlación de $R^2 = 0.972$, el cual demuestra que la curva se ajusta muy bien a los datos obtenidos en campo. La curva de calibración es confiable para valores de caudal entre 0.3306 y 1.5859 $\frac{m^3}{s}$.

Gráfico 11. Curva de calibración. Estación SA-07



4.5.2. Curva de calibración estación SA-06 Puente Panega: Los datos que se utilizaron para la creación de la curva de calibración son los que se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Datos de aforos SA-06 Puente Panega

Fecha	Hora Inicial	Caudal [m ³ /s]	Nivel Medio [m]
15/07/2015	12:50	0.5782	0.48
20/08/2015	10:10	0.6373	0.44
09/09/2015	10:35	0.5073	0.43
07/10/2015	12:45	0.3405	0.4

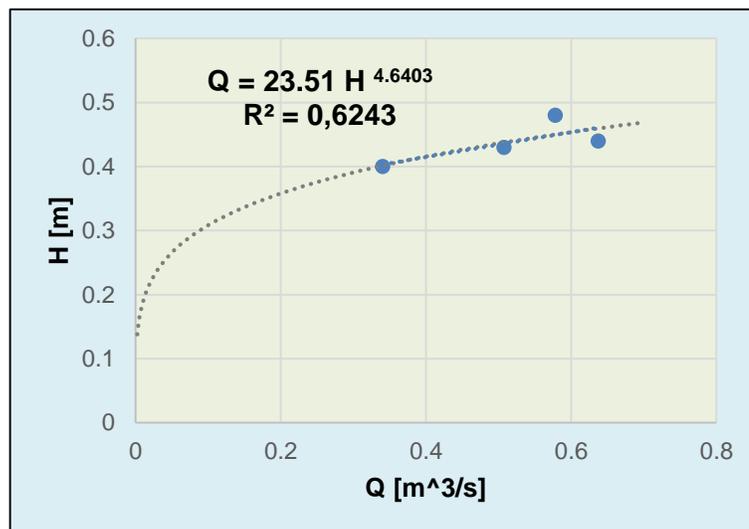
Fuente: Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio –CDMB-.

La curva de calibración que se obtuvo se muestra en la Gráfica 12, el cual tiene como función la Ecuación 4:

$$Q = 23.51 (H)^{4.6403} \quad \text{Ec. 4}$$

Con una correlación de $R^2 = 0.6243$, el cual demuestra que los datos no se ajustan a la curva de calibración, esto se debe a que la sección de aforo presenta inestabilidad debido a cambios morfológicos en la sección (erosión y/o relleno), flujo no permanente por tránsito de crecientes o crecimiento de vegetación, haciéndose necesario una mayor cantidad de aforos para comprender el comportamiento de la sección y el flujo de agua. Por lo cual la curva de calibración no se es confiable para la determinación de caudales, sólo es mostrada para efectos de análisis y que sea complementada o actualizada en una posterior adición de aforos y lecturas de nivel.

Gráfico 12. Curva de calibración. Estación SA-06



4.5.3. Curva de calibración estación RT-01 Puente Tona: Los datos que se utilizaron para la creación de la curva de calibración son los que se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Datos de aforos RT-01 Puente Tona

Fecha	Hora Inicial	Caudal [m ³ /s]	Nivel Medio [m]
21/07/2015	15:35	0.1754	0.1
21/08/2015	08:41	0.076	0.09
09/09/2015	15:10	0.0229	0.05

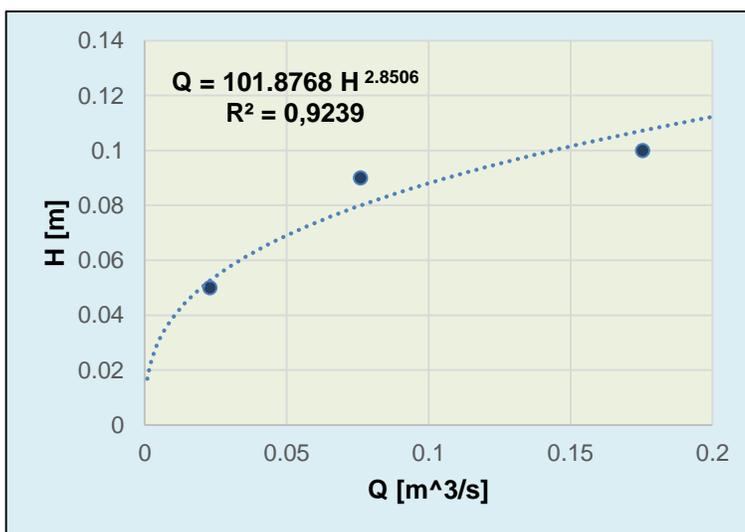
Fuente: Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio –CDMB-.

La curva de calibración que se obtuvo se muestra en la Gráfica 13, el cual tuvo como función la Ecuación 5:

$$Q = 101.8768 (H)^{2.8506} \quad (5)$$

Con una correlación de $R^2 = 0.924$, el cual demuestra que la curva se ajusta muy bien a los datos obtenidos en campo. La curva de calibración es confiable para valores de caudal entre 0.0229 y $0.1724 \frac{m^3}{s}$.

Gráfico 13. Curva de calibración. Estación RT-01.



5. GUÍA O MANUAL PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS HIDROCLIMATOLÓGICOS EN ESTACIONES LOCALIZADAS DENTRO DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CDMB.

Para la elaboración de la guía mostrada en el Anexo E se realizaron las siguientes actividades:

- a) Salidas de campo para el reconocimiento de la red hidroclimatológica.
- b) Revisión completa de los manuales de funcionamiento de las estaciones Wireless Davis Vantage PRO2, y el manual para la elaboración de aforos líquidos según el IDEAM.
- c) Revisión completa del manual de WeatherLink el cual es el software encargado para el almacenamiento de los datos meteorológicos.
- d) Capacitación por parte de la CDMB para el procesamiento de los datos, teniéndose como herramienta el manejo de programaciones en MS Excel y formatos institucionales.
- e) Capacitación por parte de la CDMB para el manejo completo del Sistema de Información Corporativa SIC.

6. CONCLUSIONES

Los estudios de precipitación anual se muestran con base a los datos recopilados en el periodo 2011 - 2015, excluyéndose el año 2012 en la estación el Roble, debido a que no se dispone de los registros de precipitación mensual suficientes para su determinación.

El comportamiento de las lluvias en la subcuenca río Suratá presenta un régimen de tipo bimodal, en donde se observan periodos de máxima y mínima precipitación. Los periodos de máxima precipitación se encuentran comprendidos entre Abril-Mayo y Septiembre-Octubre. Lo anterior atiende al régimen característico de la región y es sustentado por el efecto de la Zona de convergencia Intertropical.

La estación Lago Alto localizada en la microcuenca Suratá Alto, se encuentra a una elevación de 2702 m.s.n.m y registra un precipitación anual moderadamente mayor a la que registra la estación El Roble localizada en la microcuenca Charta, la cual se encuentra a una elevación de 2270 m.s.n.m.

Los registros de temperatura que presenta la subcuenca río Suratá en el periodo 2011-2015 han tenido un comportamiento ascendente, con un incremento en promedio de 1.015 °C.

Debido a que sólo existe un número reducido de aforos, no se hizo posible obtener un comportamiento de caudales en afluentes localizados dentro de la subcuenca río Suratá.

La guía para el procesamiento de los datos mostrada en el Anexo E, muestra de manera sistematizada el instructivo general para la recopilación, depuración, y cargue final al sistema de información corporativo.

7. RECOMENDACIONES

Para la generación de un sistema de alertas tempranas se debe disponer de la información hidroclimatológica en tiempo real, por lo cual se hace indispensable que se realice la reactivación de los equipos de telemetría, los cuales permiten la transmisión de datos e información de alarmas de manera oportuna y en series de tiempos definidos. Así mismo permite tener conocimiento del estado del equipo.

Las estaciones meteorológicas deben ser calibradas mediante equipos estándar o patrón los cuales deben estar certificados por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología –NIST- y su renovación debe ser anual mediante el Instituto Nacional de Metrología, con el fin de observar la trazabilidad y realizar los ajustes necesarios para la obtención de datos confiables.

Se debe realizar lecturas de niveles del río de manera continua y mínimo dos veces al día, con el fin de hacer uso de las curvas de calibración y disponer de información que permita generar registros de caudales diarios, realización de hidrogramas y actualización de la base de datos corporativa.

Para tener una buena confiabilidad de los datos de las estaciones, se debe realizar curvas de doble masa con estaciones cercanas del IDEAM.

Se debe realizar el fortalecimiento de la red hidroclimatológica en la subcuenca río Suratá debido a que en la actualidad sólo se cuenta con dos estaciones

meteorológicas, así mismo se debe implementar la instalación de estaciones automáticas de niveles, permitiéndose de esta manera establecer una mejor y más acertada descripción de las condiciones hidroclimatológicas que se presentan en la subcuenca.

Los estudios meteorológicos realizados por la CDMB debe tener en consideración series de tiempo mayores, para obtener así, una mejor confiabilidad en la información.

Los informes hidroclimatológicos que genera la CDMB a través del grupo de información y gestión del conocimiento ambiental IGCA, deben contener estudios en donde se involucren los demás parámetros meteorológicos tales como humedad relativa, presión, radiación solar, velocidad viento, evapotranspiración, índice UV y dirección del viento, con el fin de promover la generación de un boletín climatológico completo que se encuentre de acuerdo con los estándares y protocolos nacionales e internacionales definidos para la autoridad ambiental a nivel nacional IDEAM y la Organización Mundial de Meteorología.

BIBLIOGRAFÍA

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Plan Gestión Ambiental PGAR 2015-2031 Tomo I-II. Bucaramanga: CDMB. 2014. 335 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Informe Anual Red Hidroclimatológica, Bucaramanga: CDMB. 2014. 89 p.

CONTRERAS, Claudia; NIÑO, Raul. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia. 2007. 162 p.

DAVIS INSTRUMENTS. Manual de la Consola Vantage Pro2™ [En línea]. [Hayward, U.S.A]: Mayo de 2012. [Citado 17 de Marzo de 2016] Disponible en: https://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-240_IM_06312.pdf.

DAVIS INSTRUMENTS. Manual de WeatherLink 5.9.0 [En línea]. [Hayward, U.S.A]: Agosto de 2010. [Citado 21 de Febrero de 2016] Disponible en: https://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-210_GSG_06510_6555.pdf.

GUZMÁN, D. RUÍZ, J. F. Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través de componentes principales (ACP). Bogotá D.C.: Subdirección de Meteorología-IDEAM. 2014. 55 p.

HURTADO, Gonzalo. Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura máxima media para las regiones hidroclimáticas de Colombia. Bogotá D.C.: Subdirección de Meteorología-IDEAM. 2014. 61 p.

SABAS, Carlos. BERRIO, Juan. Red hidroclimatológica administrada por la Universidad Tecnológica de Pereira. Trabajo de Maestría. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería. 2011. 315 p.

VEN TE, Chow. Hidrología Aplicada, Bogotá D.C.: NOMOS S.A., 2000. 76 p.

ANEXOS

NOTA : LOS ANEXOS CORRESPONDIENTES A ESTE PROYECTO PUEDEN SER CONSULTADOS EN BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER: SALA BASE DE DATOS, O EN LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA: SUBDIRECCIÓN DE ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO.