

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
MICROCUEENCA RÍO DE ORO ALTO

LAURA XIMENA GALVIS DURÁN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2016

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

LAURA XIMENA GALVIS DURAN

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

Director UIS

SULLY GOMEZ ISIDRO

Ingeniera Civil, Ph.D

Tutor CDMB

María Carmenza Viccini

Ingeniera Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2016

DEDICATORIA

En primera instancia a Dios por su amor incondicional, por la fortaleza y seguridad que le da a todos los días de mi vida.

A mis padres quienes con su esfuerzo y sacrificio hicieron posible mi formación como profesional y como persona.

A mi familia Galvis Duran por el apoyo, la confianza y el cariño que me brindaron para salir adelante con este proyecto.

A Sergio Alonso González Jiménez, por ser esa persona incondicional que con su amor y compañía me dio la fortaleza suficiente para terminar con éxito la realización de este proyecto.

A mis amigos y compañeros, por los momentos compartidos, los consejos recibidos y las experiencias vividas.

AGRADECIMIENTOS

A la Doctora Sully Gómez Isidro por la contribución y apoyo para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

A la Ingeniera María Carmenza Viccini por su disponibilidad y orientación en el desarrollo de la práctica

A la CDMB por permitirme llevar a cabo la práctica empresarial y hacer parte de mi formación como profesional.

A todas las personas que hicieron parte de mi proceso de aprendizaje y formación como persona, que me brindaron apoyo y seguridad para cumplir a cabalidad todos los objetivos propuestos en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS.....	18
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. ÁREA DE ESTUDIO	19
3. RED HIDROCLIMATOLÓGICA CDMB.....	21
3.1. DESCRIPCIÓN.....	21
3.2. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.....	22
3.2.1. Instrumentos y equipos de medición	22
3.3. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	24
3.3.1. Instrumentos y equipos de medición	25
3.3.2. Medición de caudales.....	26
4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	28
4.1. CONSULTA Y DISPOSICIÓN DE LA INFORMACIÓN	28
4.2. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS FALTANTES	29
4.3. ERRORES EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS	30
4.4. PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	30
4.4.1. Radiación solar.....	30
4.4.2. Índice UV.....	31
4.4.3. Temperatura.....	32
4.4.4. Humedad relativa	32

4.4.5. Velocidad y dirección del viento	33
4.4.6. Precipitación.....	33
4.5. PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA	35
4.5.1. Curva de calibración.....	35
4.5.2. Caudales	36
4.5.3. Relación caudal y precipitación	36
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
5.1. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DISPONIBLE	37
5.2. INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA DISPONIBLE	37
5.3. ANÁLISIS DE DATOS FALTANTES	38
5.4. ANÁLISIS DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....	40
5.4.1. Radiación solar.....	41
5.4.2. Índice UV.....	43
5.4.3. Temperatura del aire	45
5.4.4. Humedad relativa	49
5.4.5. Velocidad y dirección del viento	51
5.4.6. Precipitación.....	54
5.5. ANÁLISIS DE CAUDALES	58
5.5.1. Niveles.....	58
5.5.2. Curva de calibración.....	59
5.5.3. Caudales	61
5.5.4. Relación caudal y precipitación	62
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES.....	66
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
BIBLIOGRAFÍA	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. División de la cuenca del Río de Oro.....	20
Figura 2. Red hidroclimatológica microcuenca Río de Oro Alto.....	21
Figura 3. Estación automática de niveles y mira del Rasgón.....	25
Figura 4. Estructura general de la metodología	28
Figura 5. Procesamiento de la información climatológica	29
Figura 6. Errores de mediciones de presión.	40
Figura 7. Radiación solar global media El Rasgón 2014	41
Figura 8. Radiación solar global media Sevilla 2012	42
Figura 9. Radiación solar global media pajonal abril 2012 - junio 2013.....	42
Figura 10. Promedio multianual de radiación solar global	43
Figura 11. Índice UV máximo diario, El Rasgón 2014.....	44
Figura 12. Índice UV máximo diario, Sevilla 2012.....	44
Figura 13. Índice UV máximo diario, Pajonal 2013	44
Figura 14. Temperatura media Santander 2012	46
Figura 15. Distribución de frecuencia de temperatura El Rasgón 2014	47
Figura 16. Distribución de frecuencia de temperatura Sevilla 2012	47
Figura 17. Distribución de frecuencia de temperatura Pajonal abril 2012-junio 2013	47
Figura 18. Temperatura media mensual estación El Rasgón 2014	48
Figura 19. Temperatura media mensual estación Sevilla 2012	48

Figura 20. Temperatura media mensual estación Pajonal 2012-2013.....	48
Figura 21. Humedad relativa media anual – promedio multianual 1981-2010.	49
Figura 22. Humedad relativa media mensual El Rasgón 2014	50
Figura 23. Humedad relativa media mensual Sevilla 2012	50
Figura 24. Humedad relativa media mensual Pajonal abril 2012 - junio 2013	51
Figura 25. Rosa de vientos para la estación El Rasgón 2014	52
Figura 26. Rosa de vientos para la estación Sevilla 2012	52
Figura 27. Rosa de vientos para la estación Pajonal abril 2012- junio 2013.....	52
Figura 28. Distribución de frecuencia de velocidad para la estación El Rasgón	53
Figura 29. Distribución de frecuencia de velocidad para la estación de Sevilla	53
Figura 30. Distribución de frecuencia de velocidad para la estación de Pajonal ...	53
Figura 31. Velocidad media del viento en superficie.....	54
Figura 32. Precipitación media mensual multianual estación El Rasgón 1987 – 2010.....	55
Figura 33. Precipitación media mensual multianual estación Sevilla 1981 – 2010	55
Figura 34. Intensidad de lluvia El Rasgón 2013 -2016.....	56
Figura 35. Intensidad de lluvia Sevilla 2011 – 2013.....	56
Figura 36. Intensidad de lluvia Pajonal 2012 – 2015	56
Figura 37. Precipitación media mensual El Rasgón 2013-2016	57
Figura 38. Precipitación media mensual Sevilla 2011-2013	57
Figura 39. Precipitación media mensual Pajonal 2012-2015	58
Figura 40. Nivel medio diario mayo de 2012 – agosto de 2016	58
Figura 41. Aforos 2012-2016	59
Figura 42. Curva de calibración El Rasgón 2012.....	60

Figura 43. Curva de calibración El Rasgón 2013-2014.....	60
Figura 44. Aforos del Rasgón 2015-2016	61
Figura 45. Caudal máximo instantáneo mensual	62
Figura 46. Caudal medio diario mayo 2012- agosto 2016	62
Figura 47. Relación caudal precipitación 2013 - 2016	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estaciones climatológicas microcuenca Rio de Oro Alto – CDMB.....	22
Tabla 2. Estaciones hidrométricas microcuenca Rio de Oro Alto – CDMB.....	25
Tabla 3. Categoría de exposición radiación UV	31
Tabla 4. Clasificación de la intensidad de lluvia.....	34
Tabla 5. Información climatológica disponible.	37
Tabla 6. Información hidrométrica disponible	38
Tabla 7. Numero de aforos Rasgón 2012-2016.....	38
Tabla 8. Porcentaje de datos faltantes de variables para la estación El Rasgón...39	
Tabla 9. Porcentaje de datos faltantes de cada variable para la estación Pajonal.39	
Tabla 10. Porcentaje de datos faltantes de cada variable para la estación Sevilla.	40
Tabla 11. Periodos de análisis para variables climatológicas	41
Tabla 12. Radiación solar media mensual	41
Tabla 13. Índice UV máximo mensual	45
Tabla 14. Variables estadísticas	46
Tabla 15. Humedad relativa media mensual para cada estación.....	50
Tabla 16. Porcentaje de datos faltantes de lluvia mensual	57
Tabla 17. Aforos El Rasgón 2012-2016	59

ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ANÁLISIS DE INTENSIDADES.....	71
ANEXO B. NIVELES.....	73
ANEXO C. CAUDALES DIARIOS.....	75

RESUMEN

TÍTULO:

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*

AUTOR:

GALVIS DURÁN, Laura Ximena**

PALABRAS CLAVE:

Clima, red hidroclimatológica, curva de calibración, aforos, caudales.

DESCRIPCIÓN:

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, es la entidad ambiental encargada de administrar y monitorear los recursos naturales renovables en el área de su jurisdicción. Dentro de las actividades que se realizan en la entidad, se encuentra la administración de la red hidroclimatológica por parte del grupo de investigación y gestión del conocimiento, la cual está conformada por estaciones climatológicas e hidrométricas, que registran información del clima, y variación de niveles y caudales en las principales fuentes hídricas.

En este trabajo se muestra el análisis de información de variables hidroclimatológicas de las estaciones que la CDMB dispone dentro de la microcuenca Río de Oro Alto, considerando los datos de las estaciones vigentes y los registros históricos de estaciones ya suspendidas. Para el procesamiento y análisis de la información climatológica se establecieron series de tiempo y periodos de análisis comprendidos entre 2012 y junio de 2016. Los periodos se eligieron teniendo en cuenta el porcentaje de datos faltantes y los errores detectados en las mediciones por medio de gráficas. Posteriormente se obtuvieron valores mensuales de cada variable y se identificaron comportamientos en las mediciones. En cuanto a la información hidrométrica se realizaron curvas de calibración para El Rasgón a partir del año 2012, y se analizó el comportamiento de caudales y su relación con eventos de precipitación. Finalmente se determinó que los datos de aforos realizados para el año 2015 son dispersos y no se ajustan a una curva de calibración, lo cual puede estar asociado a las malas prácticas en la realización de aforos, colmatación de la estación por falta de mantenimiento o problemas de sección variable.

*Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director UIS: Ph.D, Sully Gómez Isidro. Tutor CDMB: María Carmenza Viccini, ingeniera civil.

ABSTRACT

TÍTULO:

SUPPORT TO THE CDMB IN THE DEVELOPMENT OF ACTIVITIES FOR THE OPERATION OF THE HYDRO-CLIMATOLOGICAL NETWORK AND INFORMATION PROCESSING IN STATIONS LOCALIZED IN THE MICRO BASIN OF RÍO DE ORO ALTO*

AUTHOR:

GALVIS DURÁN, Laura Ximena**

KEYWORDS:

Climate, hydro-climatological network, calibration curve, gauging, water flow.

DESCRIPTION:

The Autonomous Regional Corporation for the Defense of the Bucaramanga Plateau - CDMB is the environmental agency responsible for managing and monitoring the renewable natural resources in the area of its jurisdiction. Among the activities carried out in the entity, is the administration of the hydro-climatological network by the research group and knowledge management, which consists of climatological and hydrometric stations that record weather information, changes in levels water flow in the main water sources.

This paper shows the analysis of hydro-climatological variables from stations that the CDMB has within the micro watershed Río de Oro Alto, taking into account information from current stations and historical records of suspended stations. For the analysis of the climatological and water flow information, time series and analysis periods between 2012 and June 2016 were established. The periods of analysis were chosen taking as a criterion the percentage of data missing and detected errors in measurements by means of graphs. Afterwards monthly values of each variable were obtained and behaviors identified in measurements. As for the hydrometric information, calibration curves for El Rasgón were made starting from 2012, and the flow behavior and its relationship with precipitation events were analyzed. Finally, it was determined that gauging data for 2015 are scattered and are not adjusted to a calibration curve, which may be associated with bad practices in conducting water gauging, silting of the station due to lack of maintenance or problems dealing with variable section.

* Bachelor thesis

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director UIS: Ph.D, Sully Gómez Isidro. Tutor CDMB: María Carmenza Viccini, ingeniera civil.

INTRODUCCIÓN

El clima según la Organización Meteorológica Mundial, OMM, es el conjunto de cambios en las condiciones atmosféricas, el cual está determinado por las variaciones y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo, en un lugar o región dada [1]. En Colombia el clima es determinado por los aspectos geográficos y atmosféricos, y para estudiarlo es necesario conocer los elementos climáticos (temperatura, precipitación, viento, humedad, entre otros) y los factores climáticos (altitud, latitud y continentalidad) [2]. En el país, existen autoridades ambientales que se encargan del monitoreo, análisis y predicción o estudio hidroclimatológico, enfocado a variables hidrológicas y climáticas, que permiten conocer y respaldar principalmente al estudio de las lluvias, como es el comportamiento de las mismas, y las implicaciones en materia de riesgo por eventos extremos.

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB, es la entidad ambiental que se encarga de la gestión y conservación del medioambiente y los recursos naturales renovables en el área de su jurisdicción, conformada por 13 municipios que abarcan una extensión aproximada de 4.520 Km y cuya altitud varía entre 35 a 3940 msnm [3].

Para el estudio del clima y el recurso hídrico, la CDMB cuenta con una red hidroclimatológica en donde se monitorea los diferentes niveles de caudales en las principales corrientes y se operan las estaciones climatológicas. El proceso de recolección y análisis de datos de la red de monitoreo tiene como finalidad mostrar información que describa con precisión las condiciones hidroclimáticas, las cuales requiere de una medición continua en todas las estaciones.

En este proyecto se realizó el procesamiento de la información hidroclimatológica disponible para la microcuenca Río de Oro Alto, y se analizó el comportamiento de variables climatológicas y caudales dentro de un periodo de tiempo definido.

Los periodos se eligieron teniendo como criterio el porcentaje de datos faltantes y los errores detectados en las mediciones por medio de gráficas. Para los datos de precipitación, se analizaron todos los registros obtenidos durante el tiempo de funcionamiento de cada estación, sin embargo, para las demás variables climatológicas: en la estación de El Rasgón se analizó los datos del 2014, para la estación de Sevilla los datos del 2012 y para la estación El Pajonal los datos dentro del periodo de abril 2012 y junio 2013. Finalmente, los datos de la curva de calibración y el análisis de caudales comprenden el periodo desde el año 2012 hasta junio de 2016.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la práctica empresarial en la CDMB, apoyando las actividades desarrolladas en el funcionamiento de la red hidroclimatológica y procesamiento de la información, en estaciones localizadas en la microcuenca del Rio de Oro, denominada Rio de Oro alto.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Revisar y analizar la calidad de la información tomada en estaciones de la microcuenca Rio de Oro Alto, para disponer de información hidroclimática confiable.

- Revisar y analizar información hidrométrica para obtener el comportamiento de caudales en la cuenca.

- Definir series de tiempo para información hidroclimática recolectada y visualizarlas en bases de datos disponibles en la CDMB.

- Apoyar la realización de informes de la red climatológica que realiza la CDMB con el fin de ofrecer información meteorológica y reportes para el público que lo necesite.

- 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 divulgación que la CDMB dispone.

2. ÁREA DE ESTUDIO

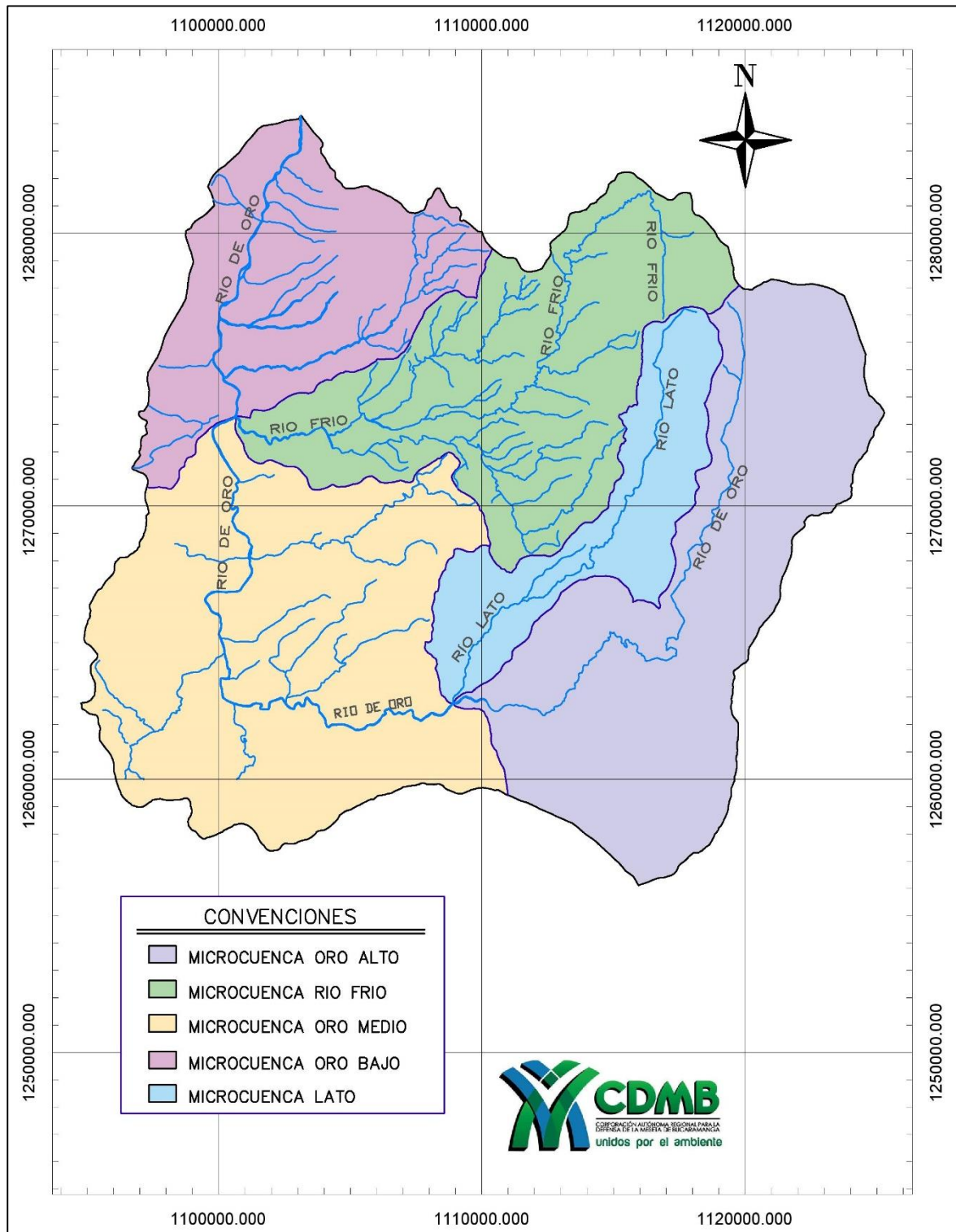
La microcuenca Río de Oro Alto se localiza en el municipio de Piedecuesta, ubicada al suroriente del área de jurisdicción de la CDMB en el departamento de Santander, con una extensión aproximada de 14.274 hectáreas que van hasta el punto de confluencia con el Río Lato; la limitan al norte las subcuencas del Río Suratá y Río Chitagá, al Oriente con la Subcuenca Río Umpalá, al Occidente con la microcuenca Río Lato y al sur con la microcuenca Río de Oro Medio y subcuenca Sogamoso Alto [4].

La microcuenca Río de Oro Alto posee altitudes que van de los 800 a los 3.500 msnm, por lo que se presentan climas que varían desde el muy frío, moderadamente húmedo, hasta el templado semihúmedo, presentándose los valores más altos de humedad en la parte media alta de la microcuenca en la vereda Cristales del municipio de Piedecuesta.

El cauce principal es el Río de Oro, el cual nace a una altura aproximada de 3500 msnm, resaltándose como referencia importante en la divisoria de aguas, el sector conocido como El Picacho. Sus principales afluentes son la Quebrada El Rasgón, Quebrada Sevilla y Quebrada La Grande.

La microcuenca Río de Oro Alto junto con las microcuencas Oro Medio, Oro Bajo, Río Frio y Río Lato, hacen parte de la subcuenca Río de Oro (Figura 1), la cual alcanza un área aproximada de 56.942,18 hectáreas, que circunscriben parcialmente a los municipios de Piedecuesta, Girón y Bucaramanga y a la totalidad del municipio de Floridablanca, constituyéndose como el área de mayor oferta de recursos y servicios ambientales para el área metropolitana de Bucaramanga.

Figura 1. División de la cuenca del Río de Oro



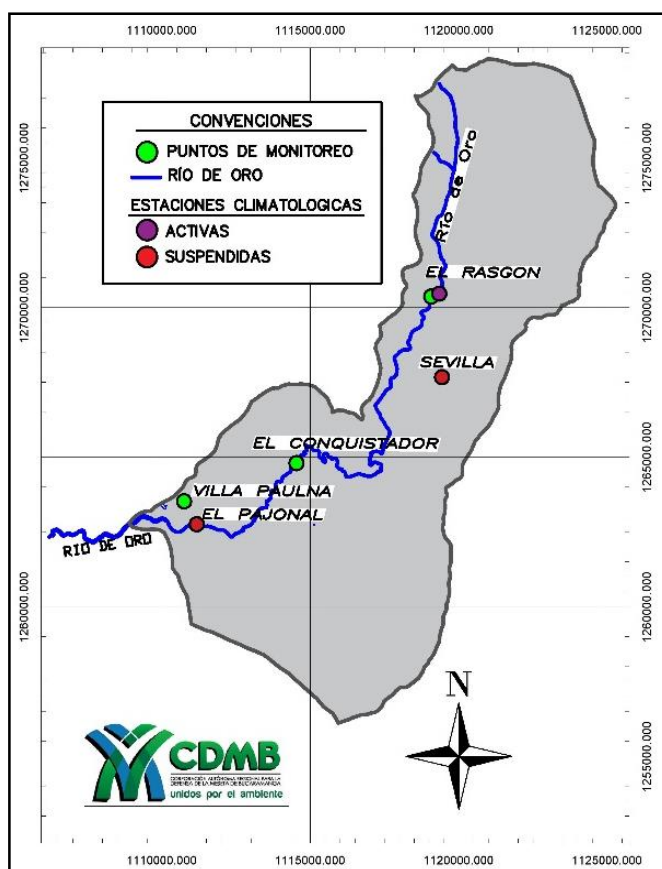
Fuente: Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio -SOPIT

3. RED HIDROCLIMATOLÓGICA CDMB

3.1. DESCRIPCIÓN

En la microcuenca Río de Oro Alto, se tiene una estación climatológica y una estación de niveles ambas automáticas en el sector conocido como El Rasgón, además se cuenta con tres puntos de monitoreo en los que se realizan aforos (El Rasgón, Conquistador y Villa Paulina). En la Figura 2 se observa el mapa de la red hidroclimatológica en la microcuenca Río de Oro Alto, con los puntos de monitoreo existentes y las estaciones climatológicas activas y suspendidas.

Figura 2. Red hidroclimatológica microcuenca Río de Oro Alto.



Fuente: Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio -SOPIT

3.2. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

La información correspondiente de estaciones climatológicas de la CDMB que han existido y existen dentro de la microcuenca Oro Alto se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones climatológicas microcuenca Rio de Oro Alto – CDMB

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS								
Cód.	Nombre	Tipo de estación		Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)	Inicio de operación	Fecha de suspensión
				Norte	Este			
50	El Rasgón	CO*	Análogas	1.270.294	1.119.913	2185	Enero de 1987	Diciembre de 2010
49	Sevilla	PM**	Análogas	1.267.670	1.119.427	1840	Julio de 1981	Octubre de 2006
23	El Rasgón	Automática	Automática	1.270.464	1.119.338	2148	Septiembre de 2013	activa
13	Sevilla	Automática	Automática	1.267.670	1.119.428	1907	Enero de 2011	Septiembre de 2013
20	Pajonal	Automática	Automática	1.262.749	1.111.178	896	Marzo de 2012	Marzo de 2015

*CO: Climatológica ordinaria **PM: Pluviómetro

3.2.1. Instrumentos y equipos de medición

Las estaciones climatológicas que posee la CDMB, son de tipo Wireless Davis Vantage PRO2, las cuales poseen varios sensores integrados que realizan la captura y almacenamiento de información de las variables climatológicas cada hora. Estas estaciones permiten la transmisión inalámbrica a una distancia de hasta 300 metros, con una capacidad de almacenamiento de 2560 registros, alcanzando su límite aproximadamente a las 14 semanas después de su última descarga.

A continuación, se identifican los sensores y herramientas que integran la estación:

- ◆ Pluviómetro automático: El pluviómetro de la estación posee un balancín, el cual es calibrado en fábrica para medir 0.2 mm de lluvia con cada vuelco, siendo

automática la descarga de la lluvia allí depositada. El cono de entrada tiene una boca de 165 mm de diámetro, generalmente este presenta problemas de medición por la obstrucción en el orificio de recolección.

- ◆ ISS (Integrated Sensor Suite): Conjunto de sensores integrados y conectados por cables, los cuales transmiten la información de la estación a la consola, gracias a una antena que permite la transmisión de datos hasta una distancia de 300 m, pudiéndose aumentar mediante repetidores inalámbricos, los cuales permiten instalar las estaciones en zonas de difícil acceso.

- ◆ Anemómetro y veleta: instrumento que registra la velocidad y dirección del viento cada 2.5 segundos, este tiene un cable de 12 m de largo para poder ponerlo separado de la estación. La veleta tiene metal en la punta para que sea más estable al soplar el viento y el brazo que une la veleta al soporte debe estar posicionada hacia el norte para la correcta medición de la dirección del viento.

- ◆ Consola central: La consola central recibe la señal del ISS cada 2.5 seg, esta recibe la información inalámbricamente por medio de una antena, y en ella se muestran los datos recolectados por la estación climatológica. La consola puede funcionar con pilas o mediante un adaptador de corriente alterna, CA.

- ◆ Panel solar: Este brinda total autonomía en lugares de difícil acceso a corriente eléctrica. Sin embargo, se debe garantizar la correcta conexión a la batería central para que allá transmisión de energía.

- ◆ Sensores de temperatura y humedad (Termo higrómetro): El sensor termo-higrómetro va dentro de una torrecilla de platos, construida con plásticos resistentes a la intemperie que protege al sensor de la luz del sol tanto directa como reflejada para que no le influya y mida lo que se trata de medir.

- ◆ Sensores de radiación UV y radiación solar: estos sensores están acoplados en la parte delantera superior del cono del pluviómetro y sujetos por un soporte a la base; los sensores tienen incorporado un pequeño nivel de burbuja para que queden perfectamente alineados.

- ◆ Datalogger y software: el Datalogger es el encargado de almacenar los datos recolectados por la estación, para luego transferirlos a un computador. Weatherlink es el programa utilizado para extraer la información del Datalogger, la bitácora y el software de Weatherlink le permiten conectarse al Davis Vantage Pro2 y a su computadora personal de tal forma que usted puede almacenar datos, verlos, graficarlos, analizarlos, exportarlos e imprimirlos.

3.3. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

En la microcuenca Río de Oro Alto, existen tres puntos de monitoreo (Tabla 2), donde se realizan los aforos y toma de muestras para el análisis de calidad y cantidad. Por otro lado, se tiene la estación automática de niveles (Figura 3), la cual registra temperatura y presiones absolutas y barométricas, cada cinco minutos.

3.3.1. Instrumentos y equipos de medición

Las estaciones que conforman la red de cantidad de agua de la CDMB, son miras limnimétricas y una estación automática de niveles que se observa en la Figura 3.

Tabla 2. Estaciones hidrométricas microcuenca Rio de Oro Alto – CDMB

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y PUNTOS DE MONITOREO								
Cód.	Nombre	Tipo	Corriente	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)	Inicio de operación	Fecha de suspensión
				Norte	Este			
RO - 06	El Rasgón	Automática de niveles	Río de Oro	1.270.358	1.119.062	2141	Abril de 2012	activa
RO - 06	El Rasgón	LM*- PMo**	Río de Oro	1.270.358	1.119.062	2141	Marzo de 2004	2012
RO - 05	Conquistador	PMo**	Río de Oro	1.114.531	1.264.794	1053	-	activa
SO - 01	Villa Paulina	PMo**	Quebrada Soratoque	1.110.752	1.263.519	910	Mayo de 2002	activa

*LM: Limnómetro **PMo: punto de monitoreo

Figura 3. Estación automática de niveles y mira del Rasgón



La mira limnimétrica es una regla escalada, que se empotra sobre listones de madera, estructuras de acero, estructuras de concreto o taludes del cauce, y la estación automática de niveles es una estación conformada por: el Mini-Diver y Baro-Diver, sensores que capturan información de temperatura y presiones absolutas y barométricas [5]; el tubo limnimétrico que actúa como protección de los sensores y provee el medio necesario para las mediciones; el dispositivo USB Diver que se utiliza para la transmisión de datos almacenados por los sensores,; y por último el software Diver Office, diseñado para el intercambio de datos Diver, permitiendo descargar y compensar los datos del Diver y el Baro-Diver en un computador, exportarlos a un programa de hojas de cálculo y visualizar el comportamiento de los niveles, temperatura y presiones barométricas en la interfaz del programa.

3.3.2. Medición de caudales

Este procedimiento consiste en realizar una serie de mediciones en campo, que permite posterior e indirectamente calcular el caudal de una corriente, el cual esta referenciado a un nivel de agua.

La medición de caudales en la cuenca del río de oro, se realiza por el método de vadeo, en el cual se calcula el área de la sección transversal y se toman mediciones de velocidad en cada una de las verticales definidas en la sección, la velocidad se determina en uno o más puntos de la vertical, contando en cada vertical las revoluciones del rotor en un lapso no inferior a los 50 segundos.

La velocidad media del agua en cada vertical, se determina por el método de puntos reducidos, el número de puntos depende del tiempo disponible y teniendo en consideración el ancho, la profundidad del agua, las condiciones del lecho, los cambios de nivel, así como la precisión con que se desea operar. Teniendo la velocidad media de cada vertical, se procede a calcular la velocidad y profundidad

media de la dovela, para posteriormente calcular el caudal total de la sección del cauce en el momento del aforo. En el cálculo de la velocidad media de la sección parcial presentada en la ecuación 1, se toma el valor de la velocidad de dos verticales adyacentes, obtenidas por métodos mencionados y se promedian.

$$V_{med\ dovela} = \left[\frac{v1 + v2}{2} \right] \quad (1)$$

En la ecuación 2 se muestra como se calcula la profundidad media de la sección es el promedio de las dos profundidades sucesivas y así para cada una de las secciones parciales.

$$P_{med\ dovela} = \left[\frac{P1 + P2}{2} \right] \quad (2)$$

Por último, se calcula el caudal de la sección parcial por medio de la ecuación 3 haciendo el producto de la profundidad, el ancho y la velocidad media de la sección parcial.

$$Q = V_{med} \times P_{med} \times b_{1-2} \quad (3)$$

El cálculo del caudal total, se obtiene de la sumatoria de los caudales parciales, y la velocidad media de dividir el caudal en el área total de la sección.

4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información hidroclimatológica que la CDMB dispone de la microcuenca Río de Oro Alto, se realizó el proceso que se ilustra en la Figura 4.

Figura 4. Estructura general de la metodología



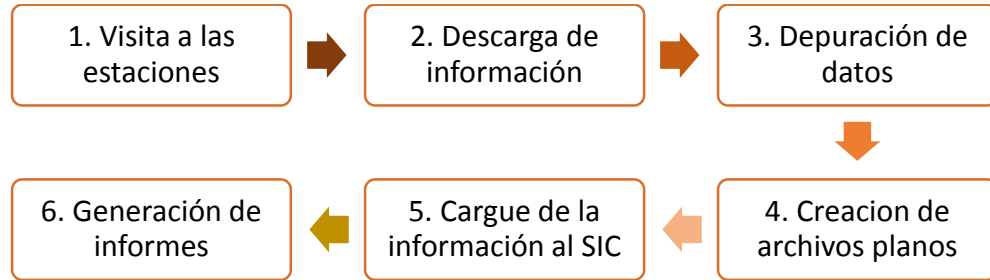
4.1. CONSULTA Y DISPOSICIÓN DE LA INFORMACIÓN

La CDMB pone a disposición de la red hidroclimatológica, dispositivos, herramientas y aplicativos, que ayudan en el desarrollo de las actividades de las redes de monitoreo (Figura 5), permitiendo que la información capturada en campo, sea almacenada en el sistema de información corporativo -SIC, y en los equipos de la red. La información hidrométrica se obtiene de la realización de aforos y registros de la estación automática de niveles.

La disponibilidad de información en el SIC y en los equipos de la red hidroclimatológica, permiten la consulta de información de todas las redes de

monitoreo, el acceso a los registros históricos de las estaciones, estudios y mapas realizados por la CDMB en el área de su jurisdicción.

Figura 5. Procesamiento de la información climatológica



4.2. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS FALTANTES

En el proceso de depuración de datos (Figura 5), se completa la serie con un valor negativo (-999) establecido por la CDMB cuando se presenta ausencia de datos en los registros. Posteriormente se aplicó la ecuación 4 para determinar el porcentaje de datos faltantes para cada año de registros de cada una de las variables.

$$\%DF = \left(1 - \frac{DR-DT}{DT}\right) \times 100 \quad (4)$$

Donde:

DF: Datos faltantes

DR: Datos registrados

DT: Datos totales que deben ser registrados

Finalmente se compara el porcentaje de datos faltantes de cada año para establecer el periodo de análisis de las variables. No obstante, se grafican los datos para identificar irregularidades en el comportamiento de las variables, producto de errores en la medición.

4.3. ERRORES EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS

La existencia de datos faltantes en un porcentaje alto o la obtención de series incompletas es producto de un número de acontecimientos que impiden la medición correcta o completa de la información, tales como:

- Daño de los sensores
- Fallas en el suministro eléctrico
- La estación alcanza el límite de capacidad de almacenamiento
- Falta de calibración y mantenimiento
- Daños en el cableado de la consola

4.4. PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Para realizar el análisis de las variables climatológicas se escogieron siete de las nueve que los equipos de la CDMB reportan. A continuación, se describe brevemente cada variable y el procedimiento que se realiza en el análisis.

4.4.1. Radiación solar

La radiación solar entrante que se recibe del sol en forma de ondas electromagnéticas, es la principal fuente de energía que impulsa muchos de los procesos físicos y biológicos que existen en la tierra [6]. Medir la radiación solar es trascendental no solo por su importancia en el desarrollo de procesos naturales e industriales, sino también por las implicaciones en la salud de personas que se exponen con frecuencia en tiempos prolongados.

La radiación diaria se determinó sumando los registros horarios. Los datos diarios fueron promediados para los meses involucrados, teniendo como resultado la

radiación media mensual en W/m². Seguidamente, se compararon resultados con el promedio multianual de radiación solar global determinado por el IDEAM.

4.4.2. Índice UV

El índice se expresa como un valor superior a cero, y cuanto más alto, mayor es la probabilidad de lesiones cutáneas y oculares, y menos tardan en producirse esas lesiones.

Según la guía práctica del índice UV solar mundial, la información sobre el índice UV se debe proporcionar al menos el valor máximo diario. En la predicción o comunicación de un máximo diario debe utilizarse el valor medio de 30 minutos. Si se dispone de observaciones continuas, es útil manejar valores medios de periodos de 5 a 10 minutos para mostrar los cambios a corto plazo. El valor del índice UV se debe presentar como un valor único, redondeado al entero más próximo [7].

Los valores de índice UV que se utilizaron para este análisis, son los referentes al máximo valor horario que se presentó en el día, tomando como referencia los rangos de categorías de exposición que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Categoría de exposición radiación UV

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MEDERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Fuente: Guía práctica índice UV solar, Organización mundial de la salud OMS

4.4.3. Temperatura

La temperatura, es la variable climática que relaciona la sensación de frío y calor de un cuerpo, producida por la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia [8]. Esta variable es una de las más utilizadas en estudios de variabilidad climática y su unidad de medición generalmente está dada en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F).

El análisis de la temperatura media máxima y mínima, representan los valores extremos que se registran durante el día. La temperatura promedio se utilizó para estimar la temperatura del día y para determinar la temperatura media mensual. Para tener una percepción más clara de la variabilidad de la temperatura en los periodos de análisis de cada estación, se realizó el histograma de frecuencia de temperatura horaria y se determinaron variables estadísticas de interés.

4.4.4. Humedad relativa

Cuando hablamos de humedad atmosférica, nos referimos a la cantidad de vapor de agua contenido en el aire, el cual representa aproximadamente el 2% de su volumen [9]. Sin embargo esta cantidad de vapor depende de ciertas condiciones del entorno o clima, como por ejemplo, si ha llovido, la presencia de bosques o plantas, si es zona costera, entre otros. Por otra parte, la humedad relativa es una variable que se encuentra directamente ligada a la temperatura, y si esta disminuye se genera un aumento de la humedad debido a que disminuye la capacidad de la atmosfera para contener agua.

La humedad relativa se analizó promediando los registros horarios recopilados por la estación automática. Posteriormente se determinó la media mensual para cada año de registro y se compararon los resultados con la humedad relativa media anual determinada entre 1981-2010 por el IDEAM.

4.4.5. Velocidad y dirección del viento

El viento es una variable del clima que se deriva del comportamiento de las presiones y temperaturas del planeta, este se puede generar con el desplazamiento de aire entre zonas de diferente presión, gracias a que cuando entre dos zonas la presión del aire es distinta, este tiende a moverse desde la zona de alta presión a la zona de baja presión. Por otro lado, el viento también puede producirse por diferencia térmica, en este caso la masa de aire adquiere una temperatura superior a la de su entorno y su volumen aumenta, así disminuye su densidad y permite que la masa de aire caliente ascienda ocasionando el viento [10].

En el análisis e interpretación de la información del viento, se tiene en cuenta la velocidad con que este se desplaza y la dirección hacia donde se transporta, para su representación se creó la gráfica de la rosa de los vientos, la cual permite incorporar simultáneamente la relación que existe entre las características que componen el viento en un periodo de tiempo determinado.

Para el análisis de datos de vientos, se utilizó el software WRPLOT View, el cual es un programa que grafica rosas de vientos y permite hacer el análisis de distribución de frecuencia a los datos.

4.4.6. Precipitación

Al enfriarse una masa de aire se llevan a cabo procesos de condensación o congelación que dan lugar a la aparición de gotas de agua o de pequeños cristales de hielo, los cuales caerán ocasionando la precipitación [11]. La precipitación es un componente fundamental del ciclo hidrológico y es la responsable de gran parte de los depósitos y fuentes de agua dulce que existen

en nuestro planeta, por tal razón es de gran importancia su medición y el constante monitoreo de su comportamiento a través de los años.

La información que se encontró para el análisis de la precipitación, proviene de las estaciones análogas y las estaciones automáticas. Los registros obtenidos por las estaciones análogas fueron de utilidad para determinar el ciclo anual de lluvias de la zona. Por último, con la información recopilada por las estaciones climatológicas automáticas se realizó un análisis de intensidades para cada estación y el comportamiento de los datos mensuales para cada año.

- Ciclo anual de lluvias: se estableció promediando los valores de precipitación mensual de todos los años de registro para cada mes, obteniendo un promedio multianual en cada uno de los 12 meses del año y el comportamiento anual de la lluvia en la zona de estudio.

- La intensidad de lluvia: se define como el volumen de precipitación por unidad de tiempo (mm/hr). Para este análisis se identificaron los eventos de lluvia registrados por las estaciones automáticas en intervalos de una hora, y se clasificaron los eventos según los rangos de intensidades definidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de la intensidad de lluvia

INTENSIDAD	RANGO [mm/hr]
Débil	Menor a 2
Moderado	Entre 2.1 y 15
Fuerte	Entre 15.1 y 30
Muy fuerte	Entre 30.1 y 60
Torrencial	Mayor a 60

Fuente: Instituto nacional de meteorología de España – INM

- Precipitación mensual y máxima mensual de 24 horas: es la suma de los acumulados diarios y el valor máximo registrado en las 24 horas para cada mes, respectivamente.

4.5. PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

Para la información hidrométrica se analizó el comportamiento de los niveles registrado por la estación automática. Así mismo, se determinó la curva de calibración con la información de aforos y niveles disponibles del Rasgón. Por último, se hallaron los caudales utilizando la curva de calibración ya mencionada y se analizó el comportamiento de caudales y su relación con eventos de precipitación.

4.5.1. Curva de calibración

Una curva de calibración es la representación gráfica de las variaciones de las descargas en la sección transversal de un río, en función de las lecturas de miras limnimétricas [12].

Para la elaboración de la curva de calibración se analizaron los aforos realizados en El Rasgón a partir del año 2012, y los niveles de la estación automática, utilizando el método logarítmico propuesto en la guía de métodos para elaborar curvas de calibración de cauces aluviales del IDEAM, el cual se basa en la ecuación 5.

$$Q = C \times (H - H_0)^n \quad (5)$$

Donde:

Q: representa el caudal

C y n: son constantes

H: nivel medio de la mira

H₀: nivel cuando el caudal es cero

La ecuación anterior se puede expresar como la ecuación 6, la cual representa una recta con pendiente n e intercepto $\ln(c)$.

$$\ln(Q) = \ln(c) + n * \ln(H - H_0) \quad (6)$$

Siendo la ecuación 6 una recta, se calculan las constantes c y n utilizando el método de mínimos cuadrados, el cual se basa en las ecuaciones 7 y 8, en donde N representa el número de datos utilizados en la curva de calibración.

$$n = \frac{N [\sum(H-H_0) \times Q] - [\sum(H-H_0)] \times [Q]}{N \sum(H-H_0)^2 - [\sum(H-H_0)]^2} \quad (7)$$

$$c = \frac{[\sum Q] - n[\sum(H-H_0)]}{N} \quad (8)$$

4.5.2. Caudales

Con la curva de calibración que se obtiene con el procedimiento anterior y los niveles registrados por la estación automática, se procede a calcular los caudales y analizar el comportamiento e identificación de eventos máximos instantáneos. El caudal medio mensual se determinó hallando la media aritmética de los caudales promedios diarios para cada mes.

4.5.3. Relación caudal y precipitación

El caudal de un río está directamente relacionado con eventos de lluvia, los cuales dan lugar a la ocurrencia de caudales instantáneos. Para identificar la relación que existe entre los eventos de lluvias y el comportamiento de caudales en un momento dado, se graficaron los valores de precipitación diaria y caudales diarios simultáneamente.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DISPONIBLE

En el proceso de búsqueda de la información, se encontró que la CDMB cuenta con registros históricos de estaciones suspendidas y una estación activa (El Rasgón). La información disponible de las estaciones climatológicas se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Información climatológica disponible.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS						
Cód.	Nombre	Tipo de estación	Información disponible		Disponibilidad de datos	
			Periodicidad	datos	Desde	Hasta
50	El Rasgón	**CO - Análogas	Diarios	precipitación	Enero 1987	Diciembre 2010
49	Sevilla	***PM - Análogas	Diarios	precipitación	Enero 1981	Diciembre 2009
23	El Rasgón	Automática	Horarios	*9 variables	Septiembre 2013	junio 2016
13	Sevilla	Automática	Horarios	*9 variables	Enero 2011	Septiembre 2013
20	Pajonal	Automática	Horarios	*9 variables	Marzo 2012	marzo 2015

* 9 variables: Precipitación, temperatura, radiación solar, índice UV, índice de calor, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento **CO: Climatológica ordinaria ***PM: Pluviómetro

5.2. INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA DISPONIBLE

En la microcuenca Río de Oro Alto la CDMB tiene miras limnimétricas instaladas, pero en ellas no se realiza lectura de niveles ni aforos, por lo cual no se tuvieron en cuenta para este análisis. Por otro, lado se tienen tres puntos de monitoreo en el cauce principal del Río de Oro y en la quebrada Soratoque en los que se realizan varios aforos cada año, sin embargo, para el análisis de caudales se utilizó únicamente la información de aforos y niveles de la estación automática del Rasgón. La información disponible de las estaciones hidrométricas se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Información hidrométrica disponible

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y PUNTOS DE MONITOREO						
Cód.	Nombre	Tipo de estación	Información		Disponibilidad	
			Intervalo	Datos	Desde	Hasta
RO – 06	El rasgón	Aut. de niveles	5 minutos	Niveles	mayo 2012	agosto 2016
RO – 06	El rasgón	LM*- PMo**	No definida	Aforos	Septiembre 1985	Junio de 2016
RO – 05	Conquistador	PMo**	No definida	Aforos	Enero 1997	Noviembre 2015
SO – 01	Villa paulina	PMo**	No definida	Aforos	Enero 1997	Noviembre 2015

*LM: Limnómetro **PMo: Punto de monitoreo

Los aforos se realizan en largos periodos de tiempo con el fin de que estos se ajusten a la realidad, presentando caudales mínimos y máximos dentro de las mediciones, y de esta manera la curva de calibración se ajuste más al comportamiento verdadero del cauce. En la Tabla 7 se muestra el número de aforos realizados en cada punto de monitoreo desde el 2012 hasta junio de 2016.

Tabla 7. Numero de aforos Rasgón 2012-2016

ESTACIÓN	AÑO				
	2012	2013	2014	2015	2016
El Rasgón	3	2	3	5	1
Villa Paulina	1	2	3	5	1
Conquistador	0	1	3	5	1

Los aforos son realizados por funcionarios de la CDMB, quienes hacen entre 3 y 5 aforos en el segundo semestre del año, y las fechas de realización obedecen más a la programación administrativa de la entidad que a la ocurrencia de épocas lluviosas y secas.

5.3. ANÁLISIS DE DATOS FALTANTES

El porcentaje de datos faltantes de cada estación por año se muestra en las siguientes tablas, cabe resaltar que este análisis se realizó a partir de los datos horarios recolectados por la Davis.

Tabla 8. Porcentaje de datos faltantes de variables para la estación El Rasgón.

PERIODO DE REGISTRO		% DATOS FALTANTES – ESTACIÓN EL RASGÓN									
DESDE:	HASTA:	AÑO	Temp	Humr	Dirv	Velv	Inca	Pres	Prec	Rads	Inuv
25/09/2013 0:00 a.m.	31/12/2013 23:00 p.m.	2013	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%
01/01/2014 0:00 a.m.	31/12/2014 23:00 p.m.	2014	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
01/01/2015 0:00 a.m.	31/12/2015 23:00 p.m.	2015	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%
01/01/2016 0:00 a.m.	30/06/2016 23:00 p.m.	2016	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%	51%
%DF 2013-2016			15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%

Tabla 9. Porcentaje de datos faltantes de cada variable para la estación Pajonal.

PERIODO DE REGISTRO		% DATOS FALTANTES – ESTACIÓN PAJONAL									
DESDE:	HASTA:	AÑO	Temp	Humr	Dirv	Velv	Inca	Pres	Prec	Rads	Inuv
28/03/2012 0:00 a.m.	31/12/2012 23:00 p.m.	2012	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
01/01/2013 0:00 a.m.	31/12/2013 23:00 p.m.	2013	8%	8%	8%	7%	8%	7%	7%	8%	8%
01/01/2014 0:00 a.m.	31/12/2014 23:00 p.m.	2014	37%	40%	36%	36%	37%	36%	36%	37%	37%
01/01/2015 0:00 a.m.	31/03/2015 23:00 p.m.	2015	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
%DF 2012-2015			15%	24%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%

La estación climatológica del Rasgón en el año 2015 presentó un 16,83% de datos faltantes, que en su mayoría corresponden a los últimos meses del año. En 2016 se perdió información de los tres primeros meses que corresponden al 51% de los datos totales registrados hasta el mes de junio. Para la estación de Pajonal el porcentaje de datos faltantes más alto se presentó en el año 2014, en el primer semestre del año con un 36.8% y el año 2015 no se presentaron registros de humedad relativa por daños en el sensor.

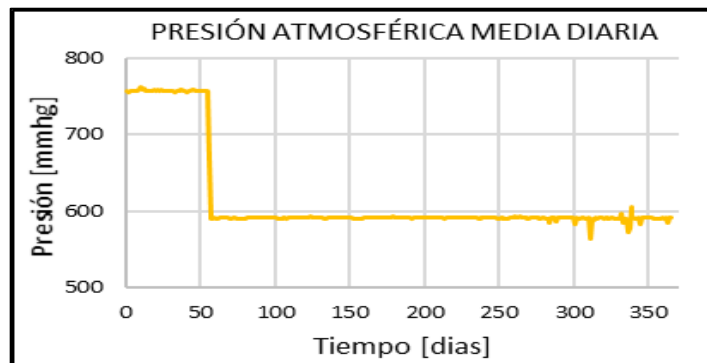
Tabla 10. Porcentaje de datos faltantes de cada variable para la estación Sevilla.

PERIODO DE REGISTRO		% DATOS FALTANTES – ESTACIÓN SEVILLA									
DESDE:	HASTA:	AÑO	Temp	Humr	Dirv	Velv	Inca	Pres	Prec	Rads	Inuv
19/01/2011 0:00 a.m.	31/12/2011 23:00 p.m.	2011	16%	16%	29%	29%	16%	16%	16%	16%	16%
01/01/2012 0:00 a.m.	31/12/2012 23:00 p.m.	2012	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
01/01/2013 0:00 a.m.	24/09/2013 23:00 p.m.	2013	0%	0%	0.2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
%DF 2011-2013			6%	6%	10%	10%	6%	6%	6%	6%	6%

La estación de Sevilla en el año 2011 no presento registros del mes de junio en su totalidad lo que representa un 19.2% de los datos para ese año.

Por otra parte, se realizaron graficas de los registros diarios para identificar errores en las mediciones como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Errores de mediciones de presión.



5.4. ANÁLISIS DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Terminado el análisis de datos faltantes y verificación grafica de las mediciones, se determinó el periodo de tiempo que se va a analizar para cada variable en cada estación. En la Tabla 11 se muestran los periodos de análisis elegidos para las estaciones automáticas. Las estaciones análogas se analizaron los datos en su totalidad.

Tabla 11. Periodos de análisis para variables climatológicas

ESTACIÓN	TIPO	TEMP	PRECIP	HUMR	INDCA	INDUV	RADS	DIRV	VELV	PRES
El Rasgón	CO	-	1987-2010	-	-	-	-	-	-	-
Sevilla	CO	-	1981-2010	-	-	-	-	-	-	-
El Rasgón	AUT	2013-2016	2013-2016	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014
Sevilla	AUT	2011- 2013	2011- 2013	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
Pajonal	AUT	2012-2015	2012-2015	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013

*CO: Climatológica ordinaria **AUT: Automática

5.4.1. Radiación solar

En la Tabla 12 se presentan los resultados del análisis de la radiación solar de cada estación, para los periodos definidos en la Tabla 11. En las Figuras (7), (8) y (9) se muestran los resultados gráficos de la radiación solar.

Tabla 12. Radiación solar media mensual

RADIACIÓN SOLAR MEDIA MENSUAL EN W/m2													
ESTACIÓN		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
SEVILLA 2012		4055	4477	4050	3866	3897	4098	3995	3902	4462	4182	4175	3881
PAJONAL	2012	-	-	-	4587	4541	4841	4518	4857	4810	4049	3553	3415
	2013	3545	3635	3947	4401	4376	4536	-	-	-	-	-	-
RASGÓN 2014		3984	4132	3938	3487	3342	3001	3082	3344	3734	3178	3263	3984

Figura 7. Radiación solar global media El Rasgón 2014

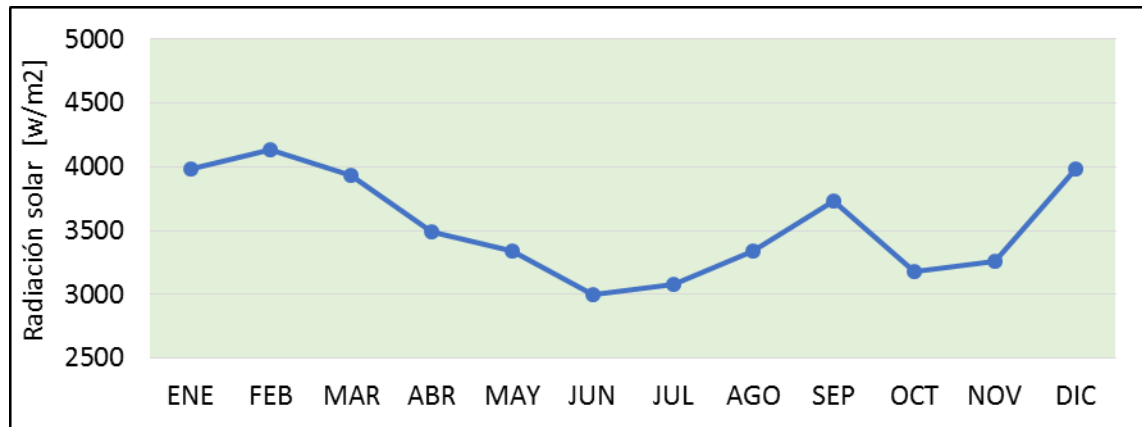


Figura 8. Radiación solar global media Sevilla 2012

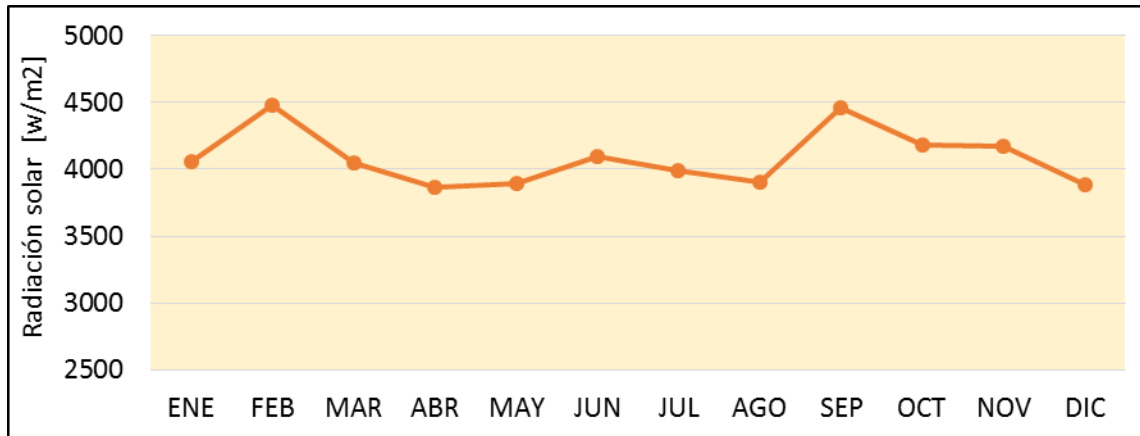
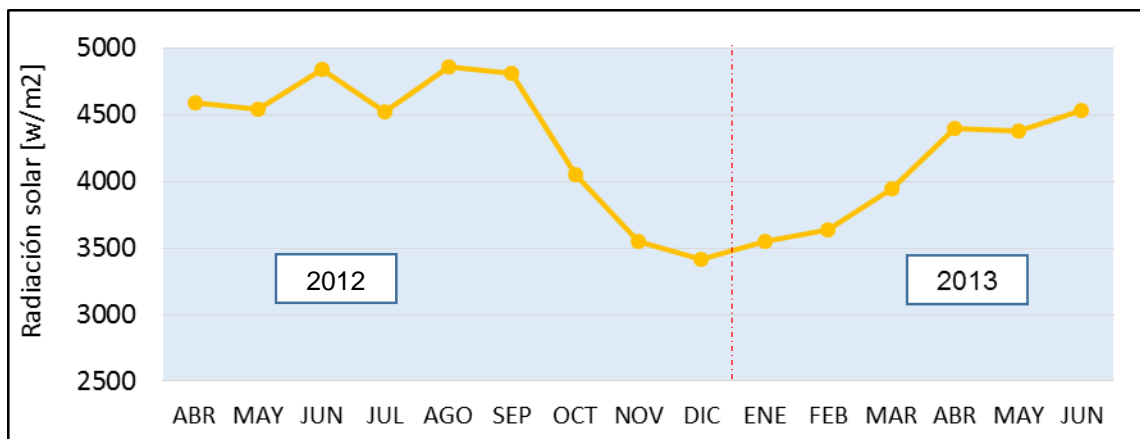
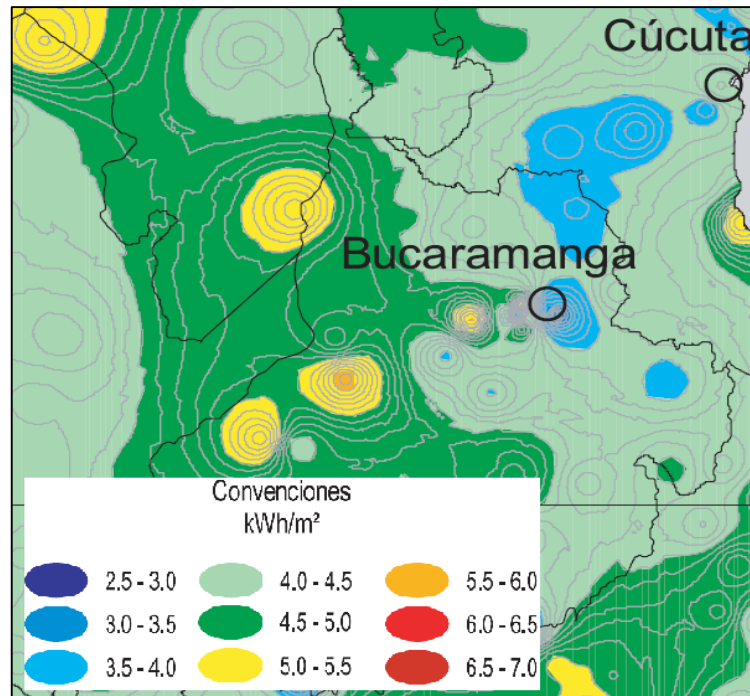


Figura 9. Radiación solar global media pajonal abril 2012 - junio 2013



Los valores de radiación solar global para la región según determinaciones del IDEAM oscilan entre 3 y 5 kW/m² como se puede apreciar en la Figura 10, ratificando los resultados presentados en la tabla 10. De esta manera se concluye que para las estaciones de estudio, la media mensual de radiación global se encuentra entre los 3.5 y 4.5 kW/m². Cabe resaltar que por condiciones de Latitud, altura sobre el nivel del mar, orografía y nubosidad, la radiación solar en la zona se encuentra en un término medio con relación a los valores obtenidos en otras regiones del país en las cuales se alcanza valores de radiación solar cercanos a los 7 kw/m².

Figura 10. Promedio multianual de radiación solar global



Fuente: Unidad de planeación minero energética de Colombia. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana

5.4.2. Índice UV

El índice UV es una medida sencilla de la intensidad de la radiación UV en la superficie terrestre y un indicador de su capacidad de causar lesiones cutáneas [14].

De los resultados gráficos del análisis del índice UV mostrados en las Figuras (11), (12) y (13), se observan registros de valores de índice UV considerablemente altos de acuerdo a la tabla de categoría de exposición propuesta por la organización mundial de la salud (Tabla 3). En el caso de la estación de Sevilla se presenta una situación crítica, en donde el 92% de los datos están por encima de la categoría alta de exposición y para las estaciones de El Rasgón y Pajonal un poco más del 50% se encuentran por encima de este rango.

Figura 11. Índice UV máximo diario, El Rasgón 2014

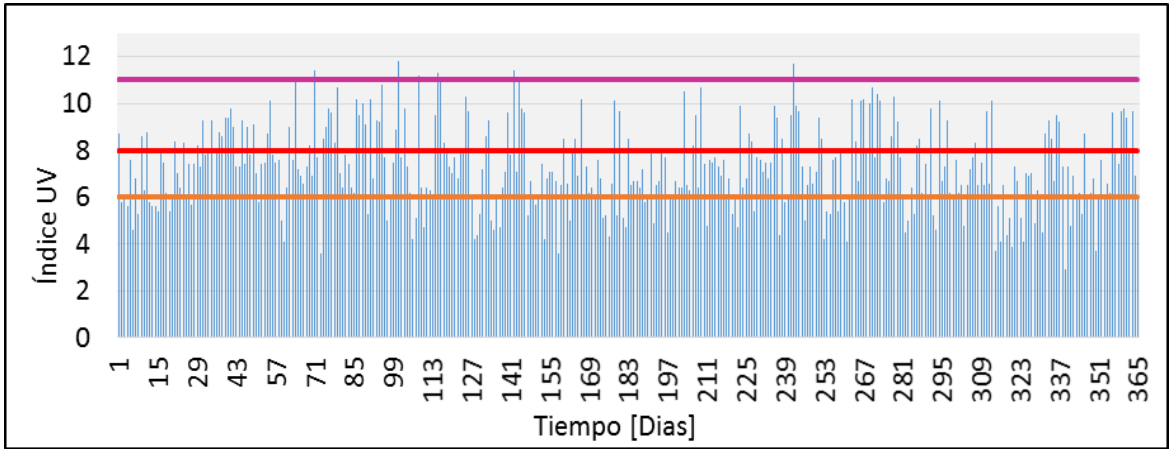


Figura 12. Índice UV máximo diario, Sevilla 2012

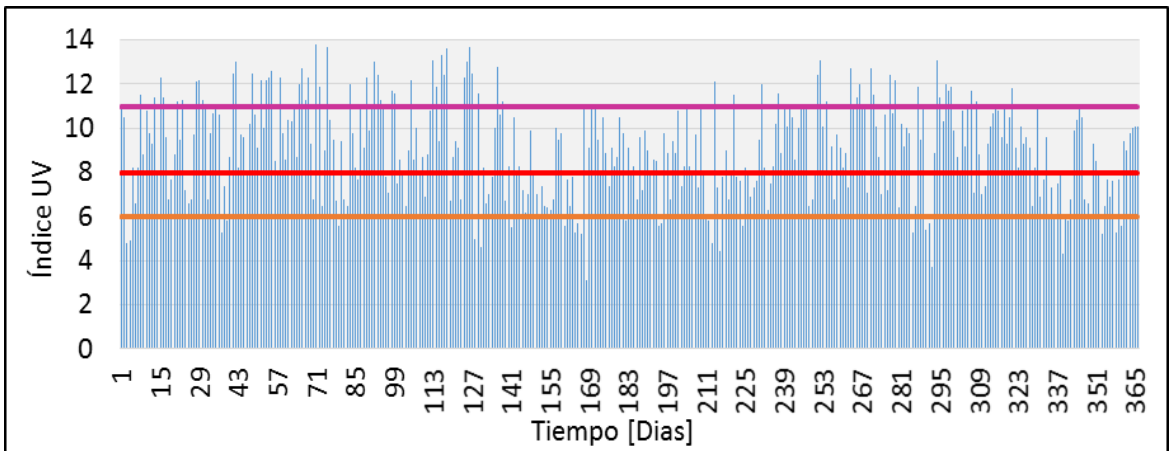
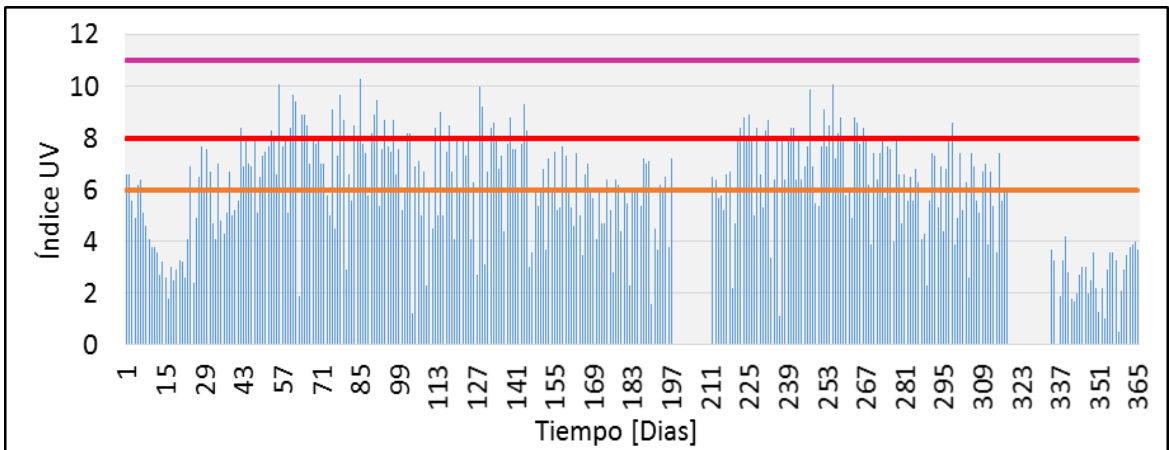


Figura 13. Índice UV máximo diario, Pajonal 2013



En la Tabla 13 se muestra los máximos absolutos mensuales y el valor medio mensual de los máximos diarios presentados durante cada mes para cada estación.

Tabla 13. Índice UV máximo mensual

Estación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
EL RASGÓN	Max	9	10	11	12	11	10	11	12	11	10	10	10
	Media	7	8	8	8	7	7	7	7	8	7	7	7
PAJONAL	Max	8	10	10	10	10	8	DF*	9	10	9	DF*	4
	Media	5	7	7	7	7	6	DF*	7	7	6	DF*	3
SEVILLA	Max	12	13	14	14	14	11	11	12	13	13	12	11
	Media	9	10	10	10	9	8	8	9	10	9	9	8

*DF: dato faltante **Max: máximo absoluto ***Media: valor medio de los máximos diarios.

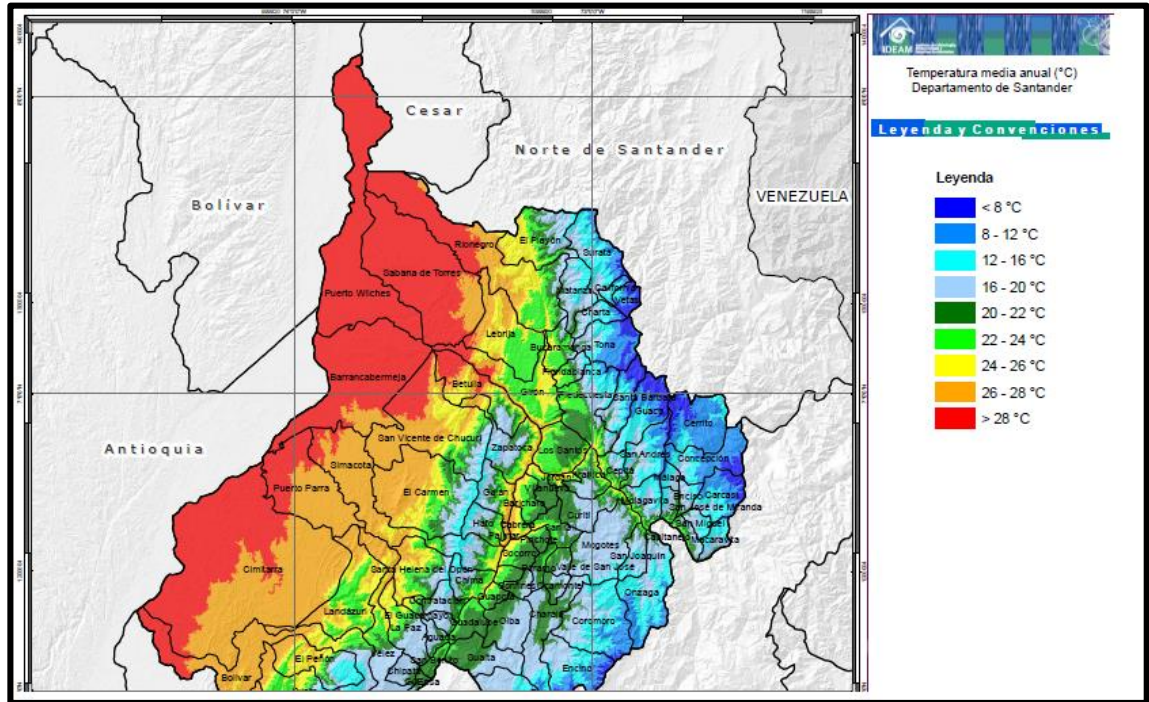
5.4.3. Temperatura del aire

Debido a la importancia que representa conocer y analizar la temperatura en los estudios climatológicos, es preciso entender su comportamiento a diferentes escalas, por ejemplo, la temperatura tiene un comportamiento horario que es variable en el transcurso del día, presentando los valores más bajos en las horas de la madrugada, y los valores más altos alrededor del mediodía. Si hablamos de la temperatura mensual o anual, el comportamiento es diferente, ya que el análisis se basa en temperaturas medias. En algunos casos en los que se requiere más detalles y precisión, se realiza el análisis para temperaturas máximas y mínimas absolutas.

La temperatura es una variable que se encuentra directamente relacionada con la altitud, debido a que las masas de aire al ganar altura experimentan un descenso de la presión y se expanden, lo que permite que el aire se enfríe. En el caso de Santander, es un departamento que, por su diversidad de altitudes, presenta

temperaturas medias por debajo de los 6°C en las zonas de mayor altitud, hasta los 32°C en las depresiones del cañón del Chicamocha.

Figura 14. Temperatura media Santander 2012



Fuente: Sistema de información ambiental para Colombia-SIAC. Mapas de temperatura media para Santander.

Para tener una percepción más clara de la variabilidad de la temperatura en los periodos de análisis de cada estación, se muestran en las Figuras (15), (16) y (17) los histogramas de frecuencia de temperatura horaria y en la Tabla 14 se presentan algunas variables estadísticas de interés.

Tabla 14. Variables estadísticas

Estaciones	mínimo	máximo	media	mediana	Total de datos
El Rasgón 2014	8 °C	23 °C	15.6 °C	15.3 °C	8,760
Sevilla 2012	11 °C	26 °C	17.4 °C	16.7 °C	8,171
Pajonal abril 2012 - junio 2013	13 °C	33 °C	23.2 °C	22.1 °C	11,025

Figura 15. Distribución de frecuencia de temperatura El Rasgón 2014

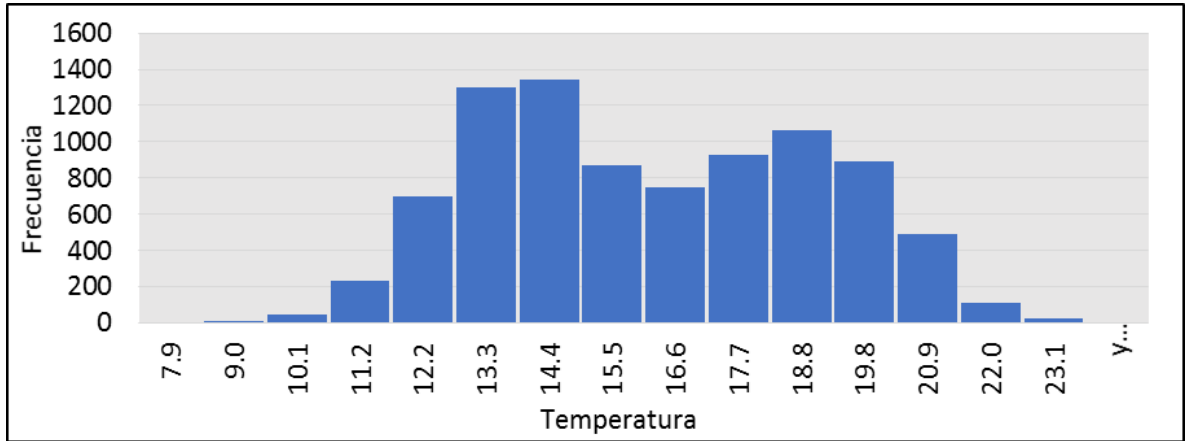


Figura 16. Distribución de frecuencia de temperatura Sevilla 2012

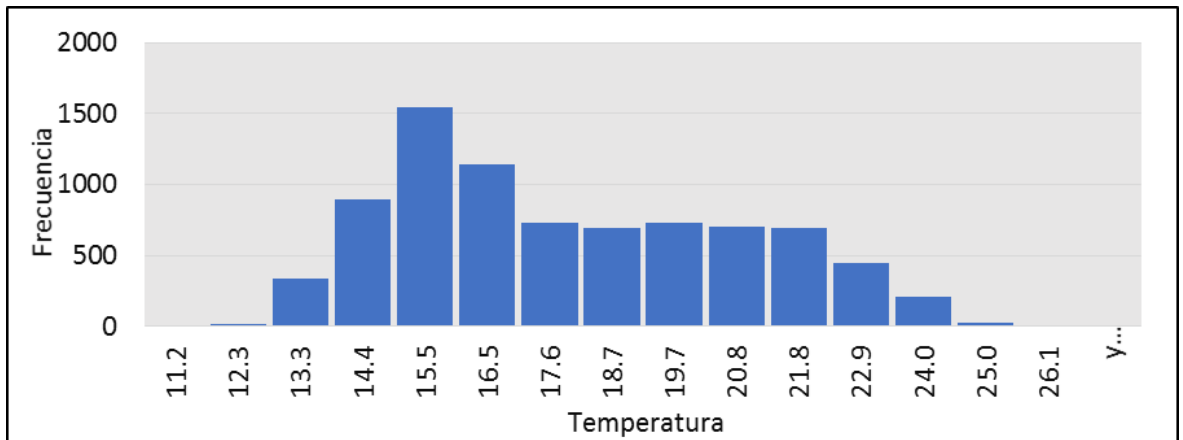
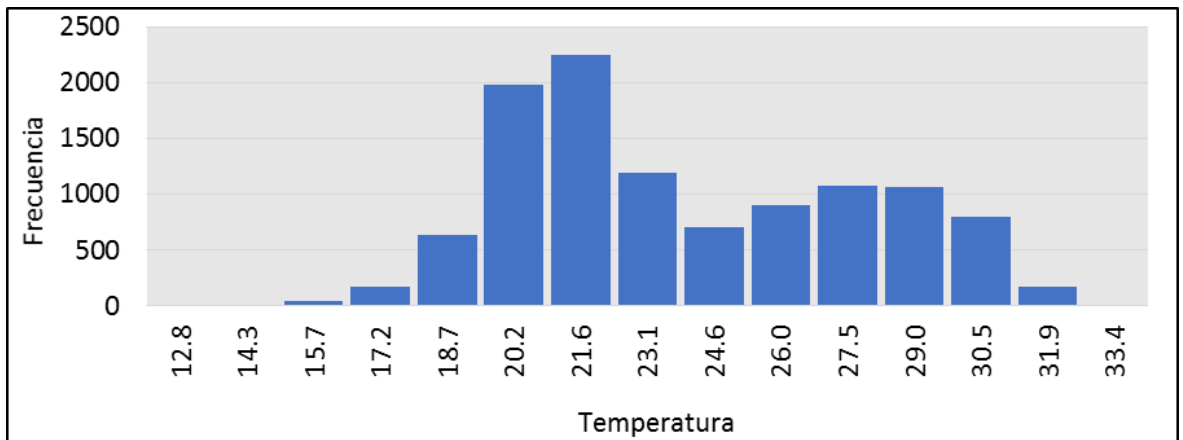


Figura 17. Distribución de frecuencia de temperatura Pajonal abril 2012-junio 2013



En las Figuras (18), (19) y (20) se muestran los resultados gráficos de los registros de temperatura para cada variable

Figura 18. Temperatura media mensual estación El Rasgón 2014

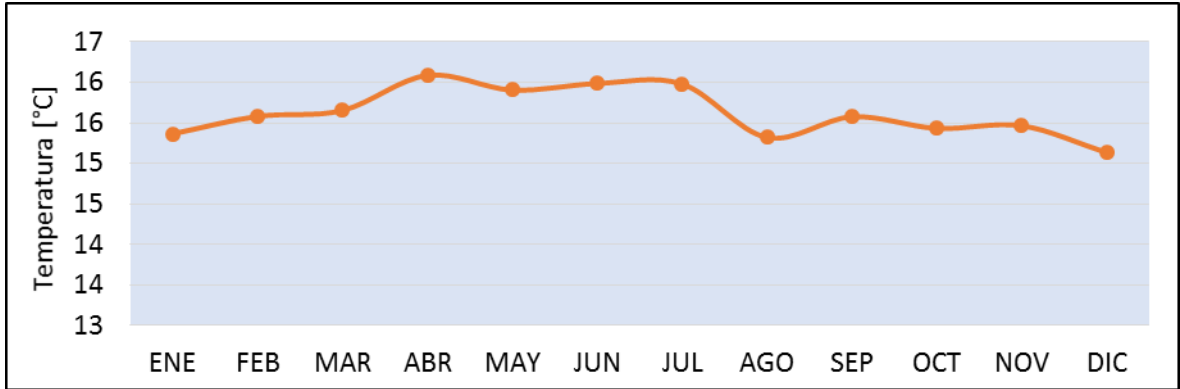


Figura 19. Temperatura media mensual estación Sevilla 2012

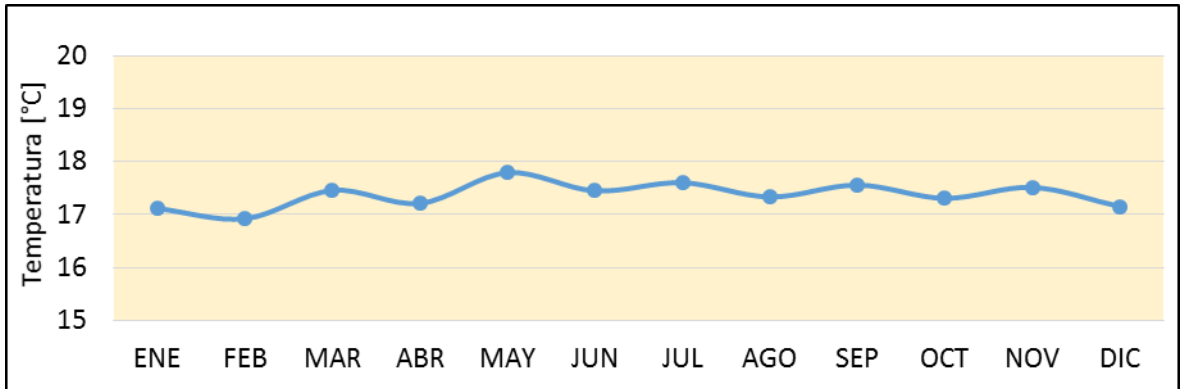
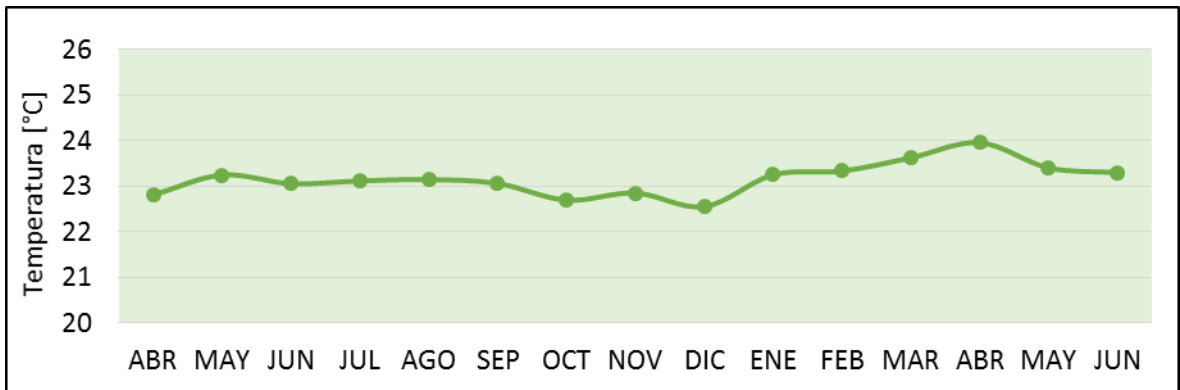


Figura 20. Temperatura media mensual estación Pajonal 2012-2013

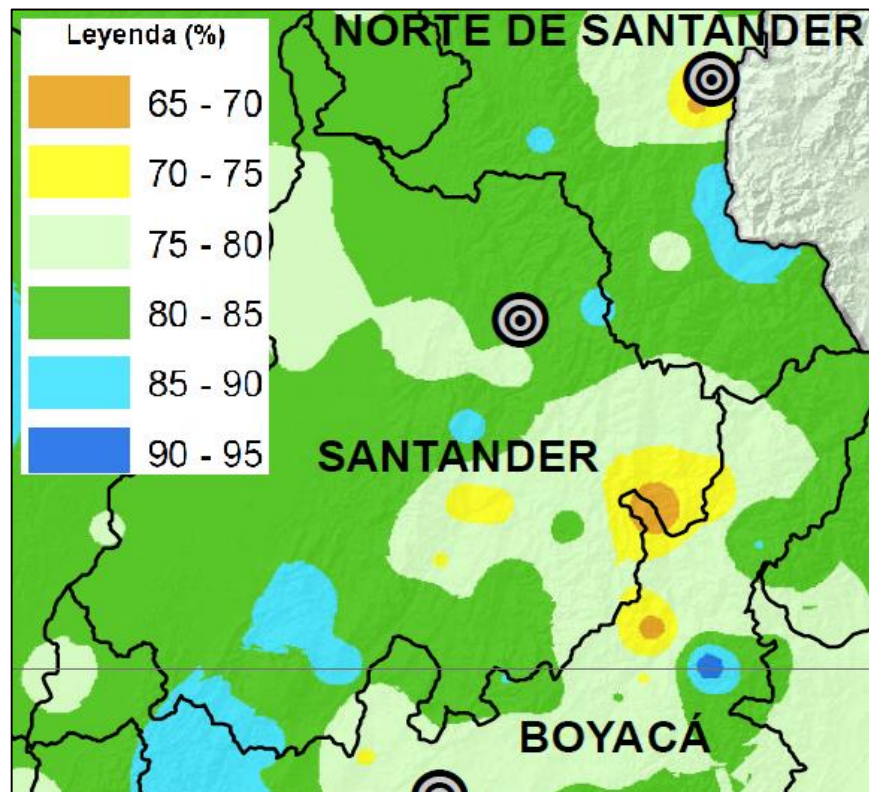


La estación El Rasgón en el año 2014 la temperatura media mensual varía entre los 15 ° C y 16 ° C durante todo el año. En Sevilla la temperatura media mensual oscilo entre los 17°C y 18°C. Para Pajonal la temperatura media mensual se mantuvo entre los 22.5°C y 23.3°C en el año 2012 y para la primera mitad del año 2013 la temperatura media aumentó hasta los 24°C.

5.4.4. Humedad relativa

En el análisis de humedad relativa se tomó como referencia los valores de humedad media anual entre 65% y 90%, para el periodo comprendido entre 1981 y 2010 determinados por estudios del IDEAM, como se evidencia en la Figura 21.

Figura 21. Humedad relativa media anual – promedio multianual 1981-2010.



Fuente: Sistema de información ambiental para Colombia- CIAC, humedad relativa media anual para Colombia

Los resultados gráficos de la humedad relativa media mensual se muestran en la Tabla 15 y en las gráficas que se muestran a continuación.

Tabla 15. Humedad relativa media mensual para cada estación

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL [%]														
MES		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
SEVILLA	2012	90	87	89	92	91	89	89	91	88	91	90	90	90
PAJONAL	2012	-	-	-	87	87	84	83	85	84	87	87	87	86
	2013	82	87	86	84	87	85	-	-	-	-	-	-	85
RASGÓN	2014	92	91	92	93	94	93	91	92	92	94	95	92	92

Figura 22. Humedad relativa media mensual El Rasgón 2014

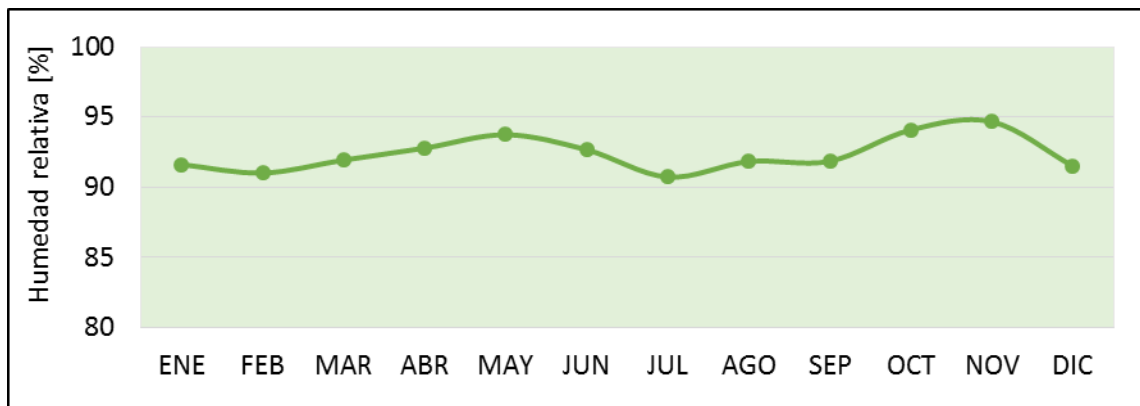


Figura 23. Humedad relativa media mensual Sevilla 2012

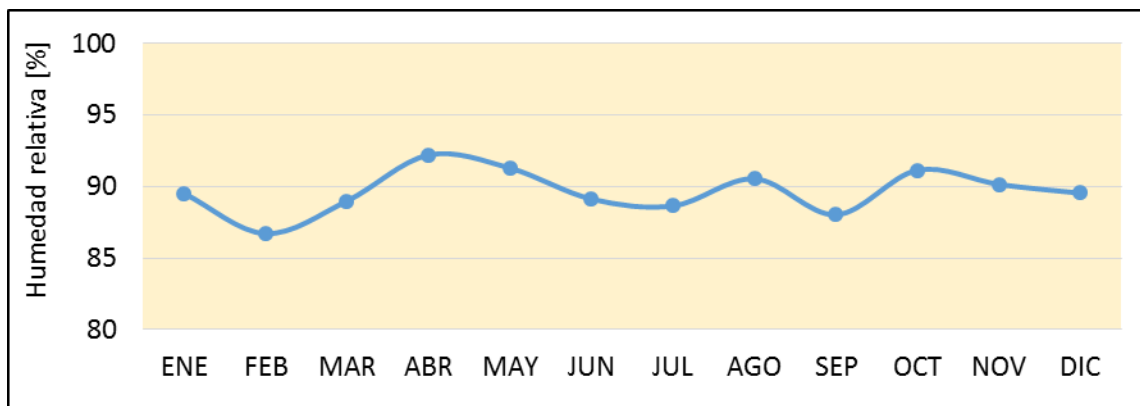
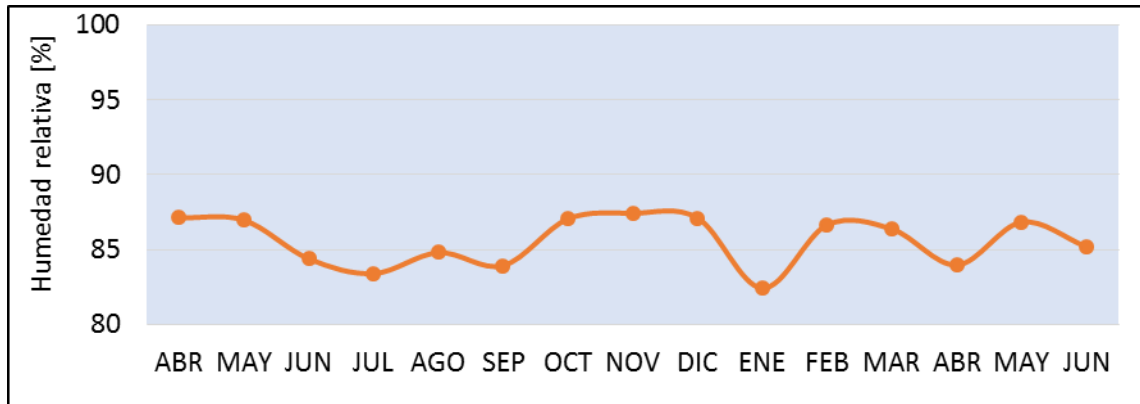


Figura 24. Humedad relativa media mensual Pajonal abril 2012 - junio 2013



La humedad relativa media mensual para la estación El Rasgón presentó variaciones entre 90% y 95%. En Sevilla la humedad relativa media osciló entre 87% y 92%, y en la estación Pajonal se presentaron porcentajes de humedad entre el 82% y 87%. Comprando estos valores de humedad relativa con los del IDEAM, podemos observar que la media anual es muy cercana a los valores representados para la zona en la Figura 21.

5.4.5. Velocidad y dirección del viento

Los resultados gráficos y de frecuencia del análisis de los registros de vientos, se presentan a continuación para cada una de las estaciones en los periodos definidos en la Tabla 11. En la gráfica de rosa de los vientos se puede observar la dirección de los vientos que predominan en la zona y el valor porcentual de las velocidades para cada dirección.

Finalmente se observa que los vientos en la zona son de bajas velocidades, predomina la calma y la velocidad máxima no supera los 5m/s.

Figura 25. Rosa de vientos para la estación El Rasgón 2014

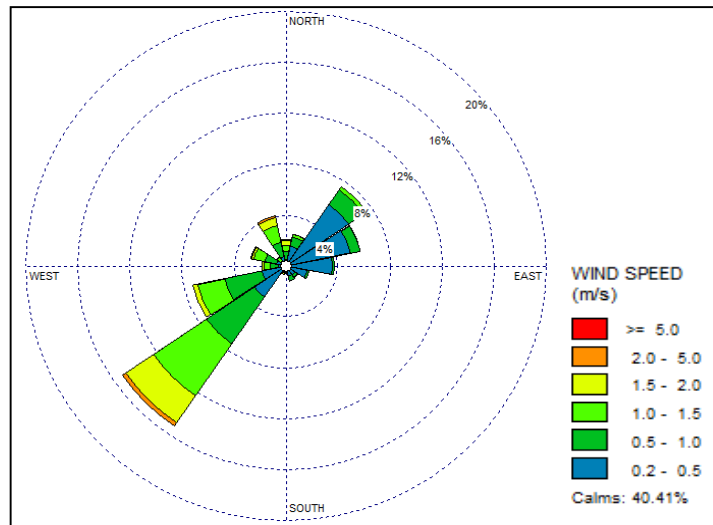


Figura 26. Rosa de vientos para la estación Sevilla 2012

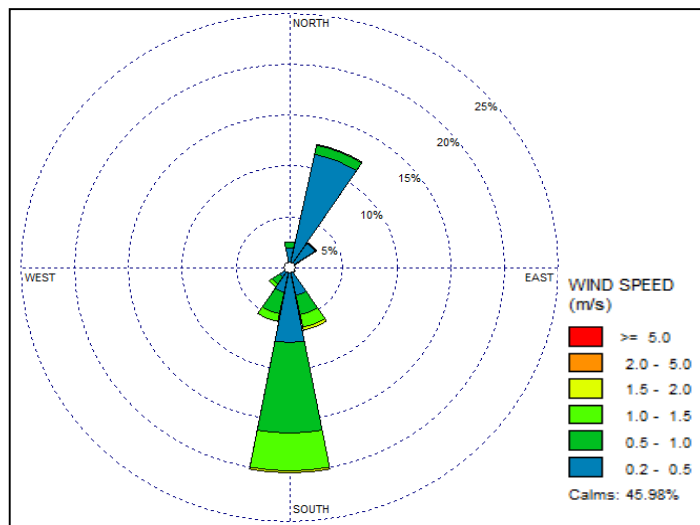


Figura 27. Rosa de vientos para la estación Pajonal abril 2012- junio 2013

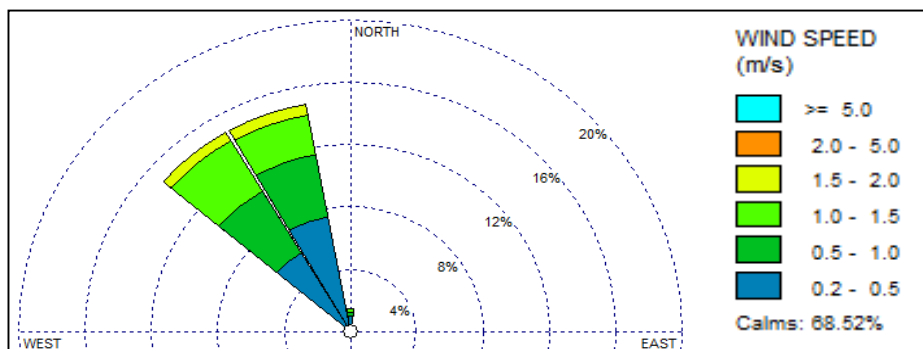


Figura 28. Distribución de frecuencia de velocidad para la estación El Rasgón

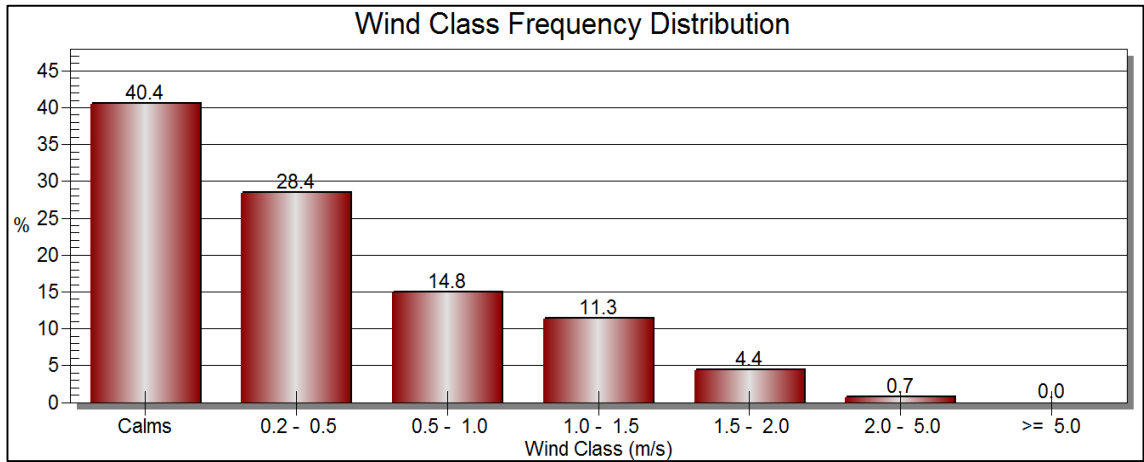


Figura 29. Distribución de frecuencia de velocidad para la estación de Sevilla

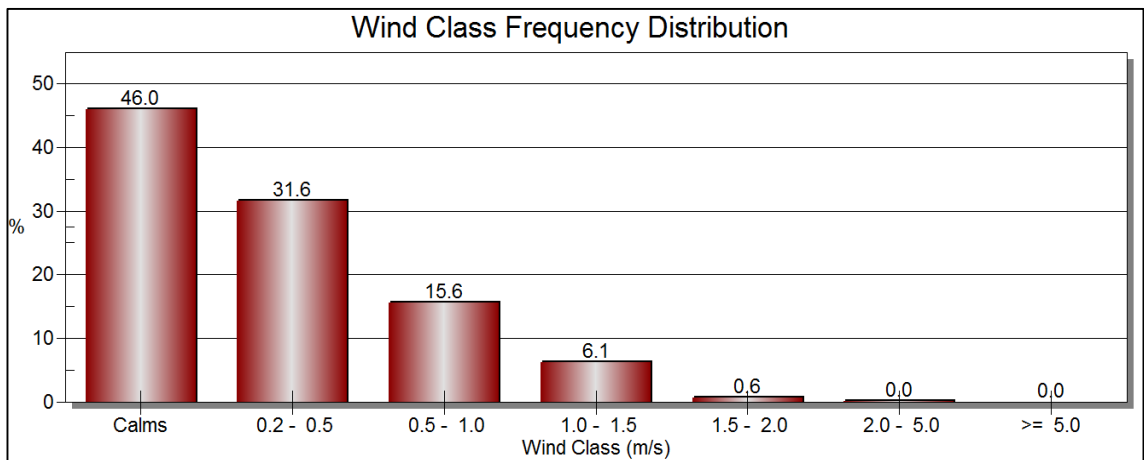
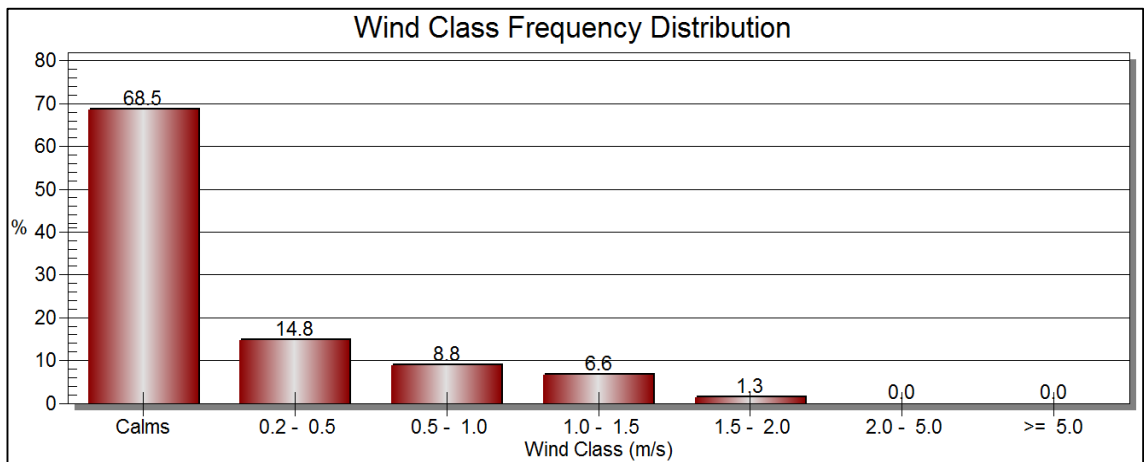
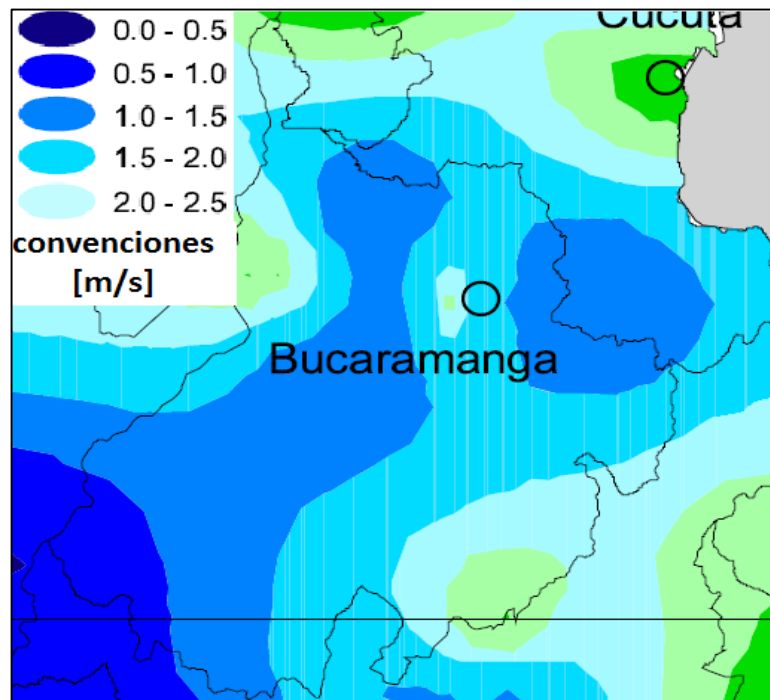


Figura 30. Distribución de frecuencia de velocidad para la estación de Pajonal



En la Figura 31 se muestra el mapa de velocidad media para Santander según reportes del IDEAM, en donde se puede observar velocidades inferiores a los 5 m/s, lo cual ratifica los resultados obtenidos anteriormente.

Figura 31. Velocidad media del viento en superficie



Fuente: Atlas de viento y energía eólica de Colombia, instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales- IDEAM

5.4.6. Precipitación

A continuación, se muestran los resultados de precipitación con la información disponible de las estaciones análogas y automáticas.

Ciclo anual de lluvia: Desde el punto de vista temporal, la migración meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es uno de los mecanismos preponderantes para explicar la variabilidad anual y semianual de la precipitación en Colombia [15].

Figura 32. Precipitación media mensual multianual estación El Rasgón 1987 – 2010

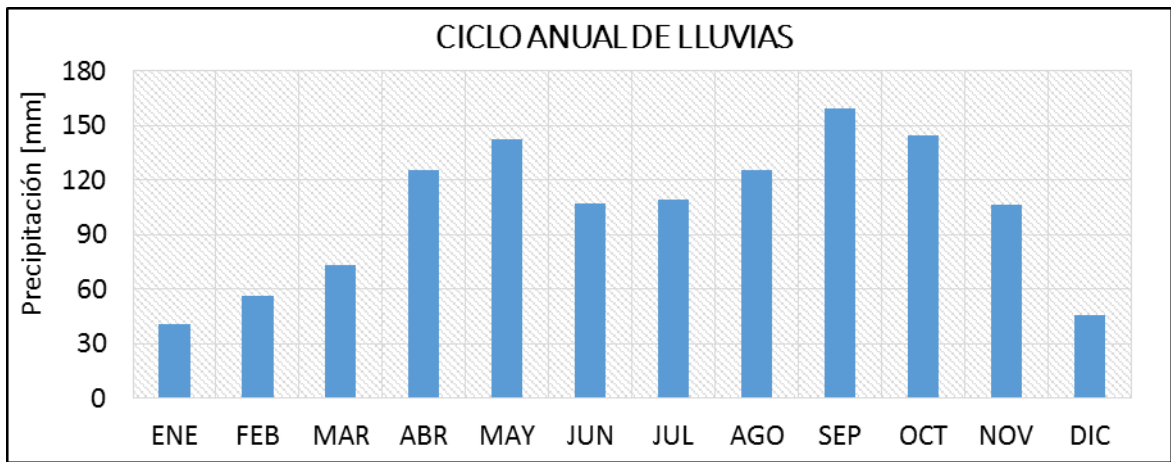
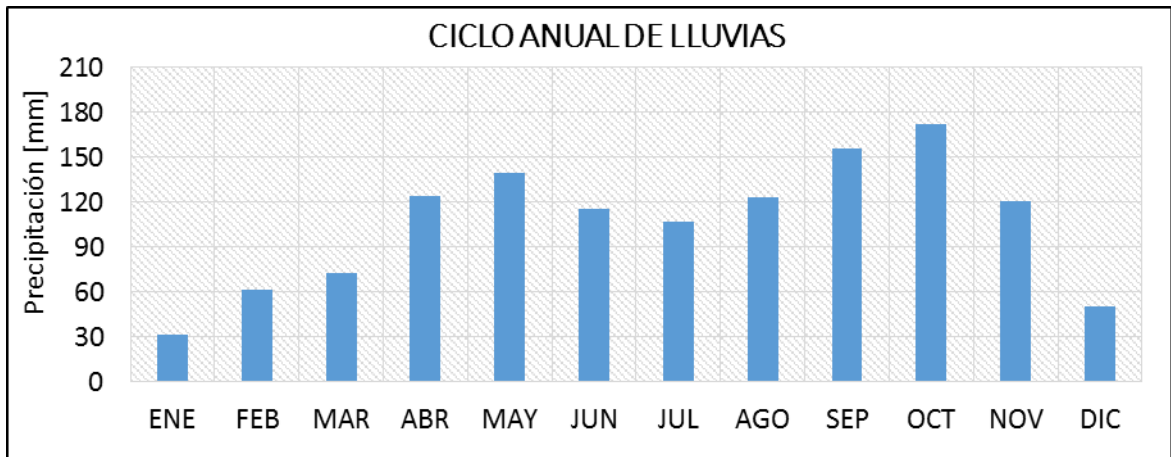


Figura 33. Precipitación media mensual multianual estación Sevilla 1981 – 2010



Las Figuras 32 y 33 muestran que el ciclo anual de lluvias para la zona es de tipo bimodal. Durante el año se presentan dos periodos de lluvia, el primero entre abril y mayo y el segundo entre septiembre y octubre.

Análisis de intensidades: Los resultados del análisis de intensidad para cada estación se resumen en las tablas que se encuentran en el Anexo 1. Se presentan las gráficas de la intensidad de lluvia (Figuras 34, 35 y 36) de las estaciones con

base a los eventos de lluvia registrados, sin olvidar la existencia de un porcentaje de datos faltantes.

Figura 34. Intensidad de lluvia El Rasgón 2013 -2016

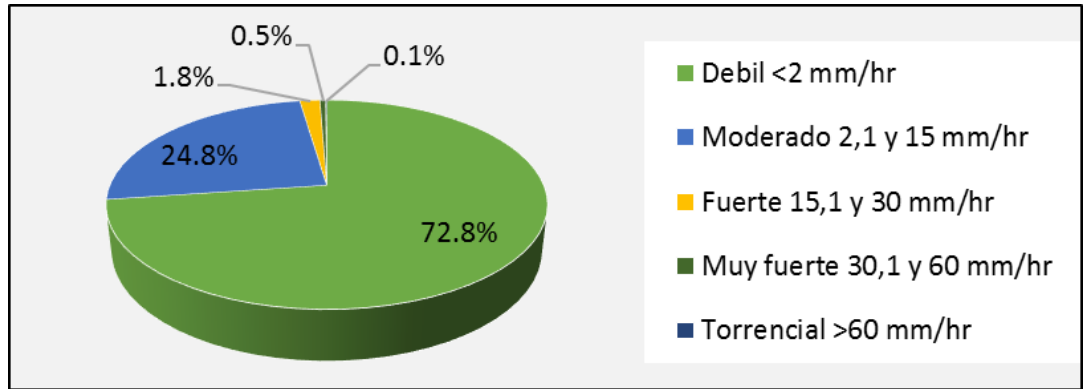


Figura 35. Intensidad de lluvia Sevilla 2011 – 2013

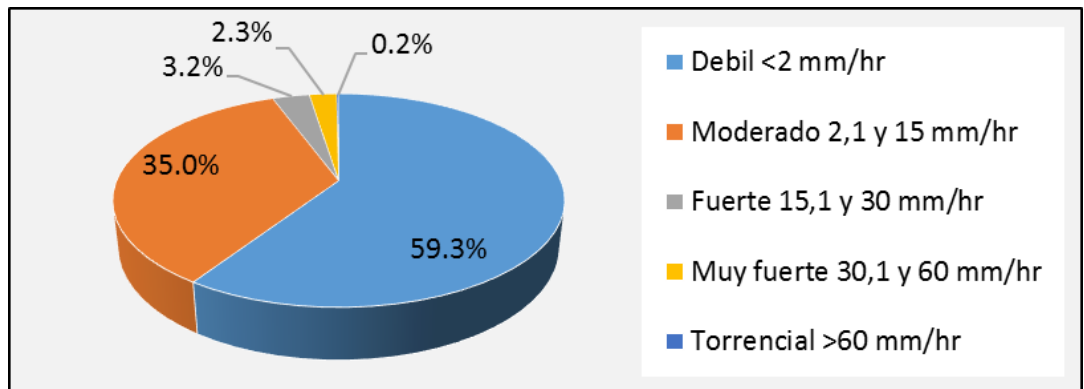
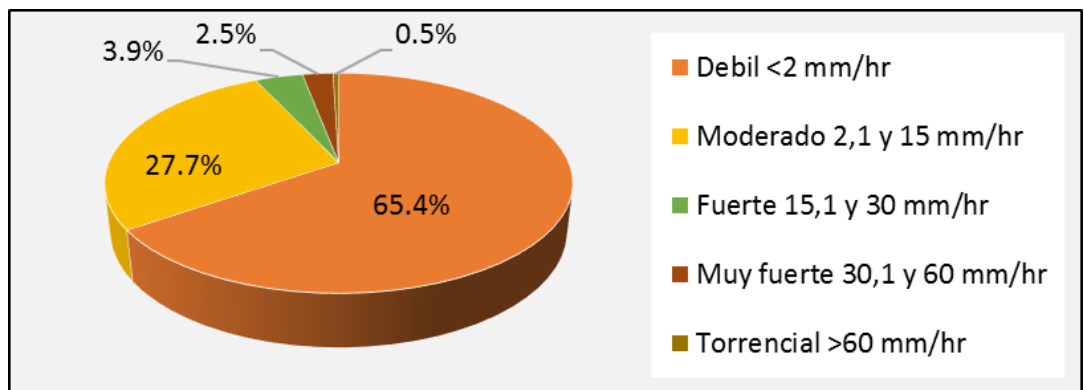


Figura 36. Intensidad de lluvia Pajonal 2012 – 2015



Análisis de precipitación mensual: El análisis de la precipitación mensual se realizó con los registros totales de las estaciones automáticas (Figuras 37, 38 y 39). Se observa que la precipitación no tiene una evidencia clara de su comportamiento a través del periodo de funcionamiento de cada estación debido al porcentaje de meses faltantes (Tabla 16). Sin embargo, en las estaciones El Rasgón y Sevilla, en los años 2014 y 2012 respectivamente se puede evidenciar un comportamiento bimodal, en el cual existen dos épocas de lluvia

Tabla 16. Porcentaje de datos faltantes de lluvia mensual

% DE DATOS FALTANTES DE LLUVIA MENSUAL – ESTACIONES AUTOMÁTICAS		
El Rasgón	Sevilla	Pajonal
24%	15%	19%

Figura 37. Precipitación media mensual El Rasgón 2013-2016

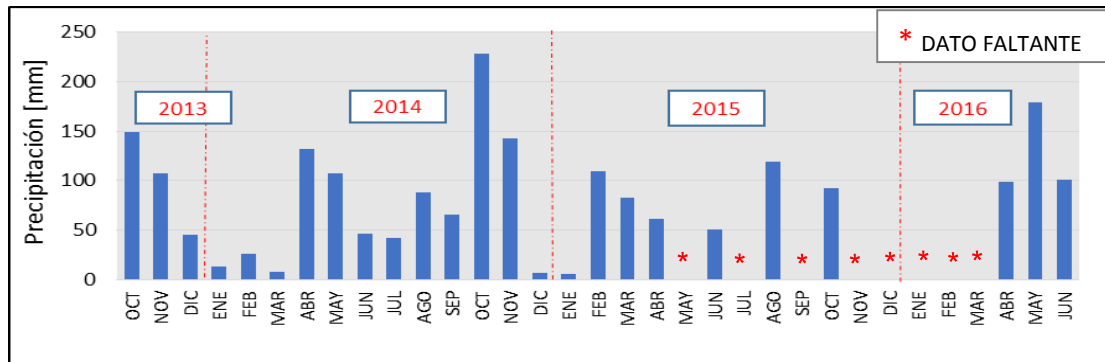


Figura 38. Precipitación media mensual Sevilla 2011-2013

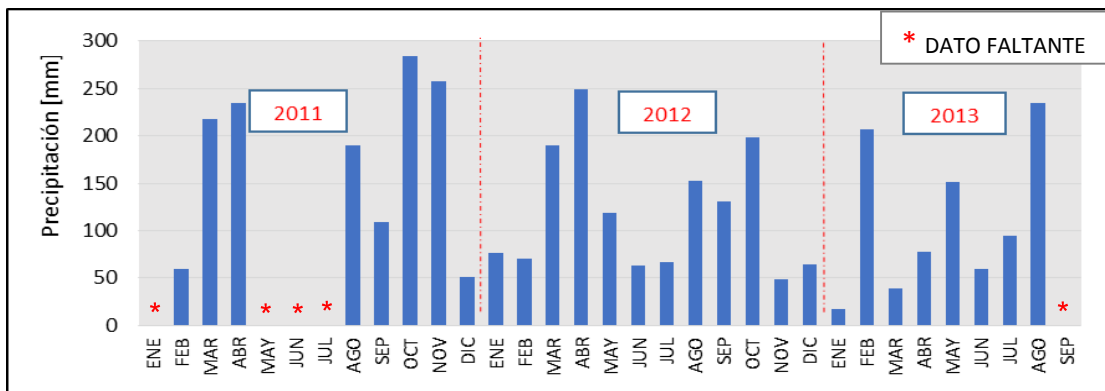
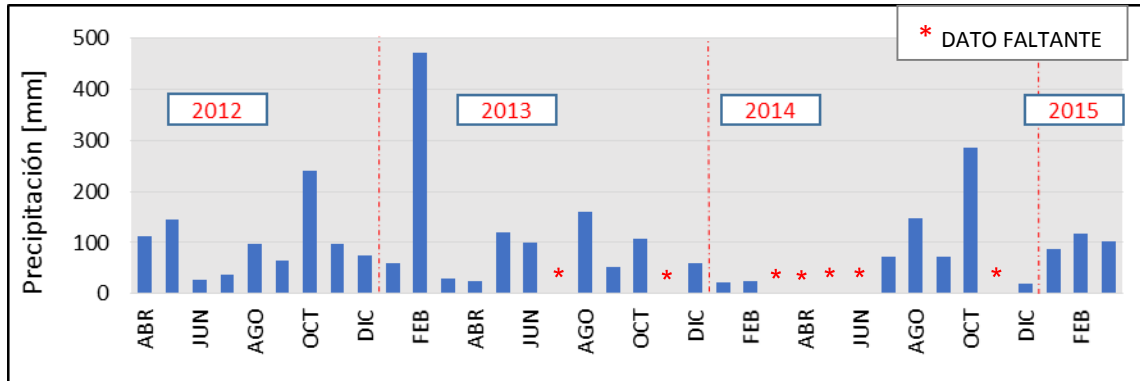


Figura 39. Precipitación media mensual Pajonal 2012-2015



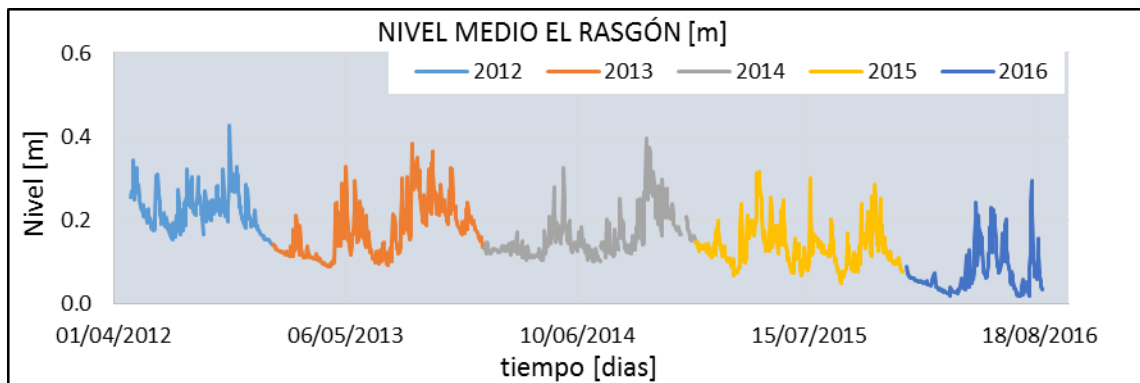
5.5. ANÁLISIS DE CAUDALES

Para realizar el análisis de caudales en la estación El Rasgón, se tuvo en cuenta la información disponible de aforos, y niveles entre 2012 y 2016. A continuación, se muestra los resultados de los niveles registrados por la estación automática.

5.5.1. Niveles

Con base en los resultados observados en las gráficas del Anexo 2, se identificaron periodos en donde los niveles del cauce eran demasiado bajos, y que estos periodos se relacionaban con las épocas de bajas lluvias.

Figura 40. Nivel medio diario mayo de 2012 – agosto de 2016



También se observó que los valores de niveles han venido descendiendo desde el momento de la instalación de la estación (Figura 40), lo cual puede estar relacionado con su mantenimiento o por captaciones aguas arriba del cauce.

5.5.2. Curva de calibración

Para la elaboración de la curva de calibración se graficaron los valores de caudal y nivel de la Tabla 17 y se observó que los aforos no se ajustaban a una misma curva de calibración (Figura 41) por lo cual se decidió realizar una curva para cada año.

Figura 41. Aforos 2012-2016

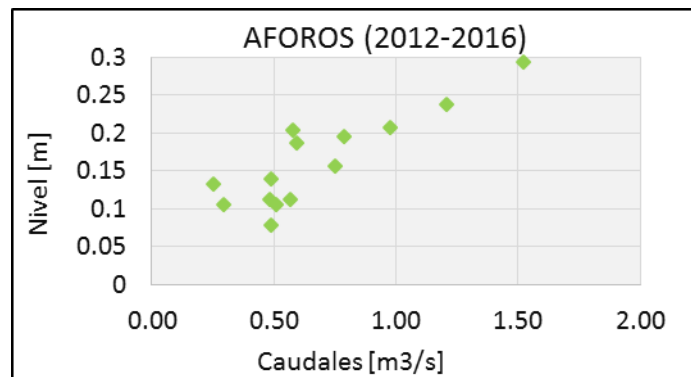
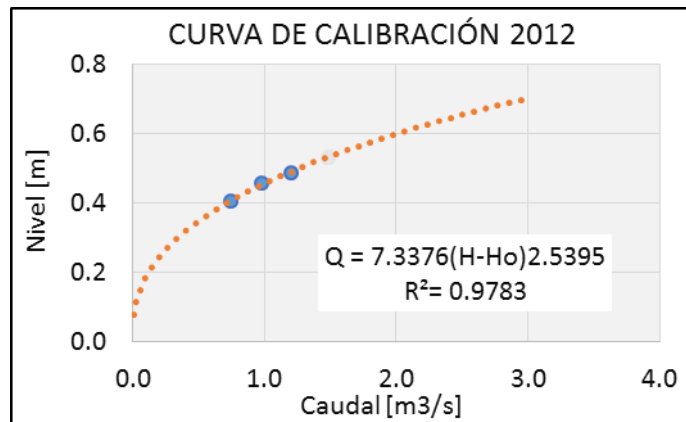


Tabla 17. Aforos El Rasgón 2012-2016

FECHA	Nivel [m]	H-Ho [m]	Caudal [m ³ /s]
12/07/2012	0.16	0.41	0.75
23/08/2012	0.24	0.49	1.21
20/09/2012	0.21	0.46	0.98
24/09/2013	0.20	0.35	0.58
29/10/2013	0.20	0.35	0.79
22/07/2014	0.11	0.26	0.29
23/09/2014	0.14	0.29	0.49
21/10/2014	0.30	0.44	1.52
31/08/2015	0.11	0.46	0.51
22/09/2015	0.11	0.46	0.48
28/10/2015	0.19	0.54	0.59
01/12/2015	0.11	0.46	0.57
27/06/2016	0.08	0.43	0.49

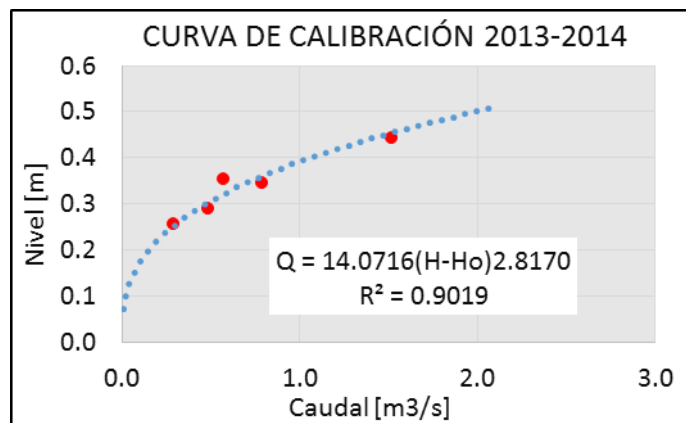
Se pudo elaborar dos curvas de calibración de acuerdo a la información disponible (Tabla 17) y al ajuste de la relación Nivel-Caudal. Estas curvas de calibración se muestran en las Figuras 42 y 43.

Figura 42. Curva de calibración El Rasgón 2012



Con los aforos del año 2013 y 2014 se elabora una curva de calibración (Figura 43), porque los aforos de 2013 no eran suficientes y porque los datos de estos dos años se ajustaban a una misma curva.

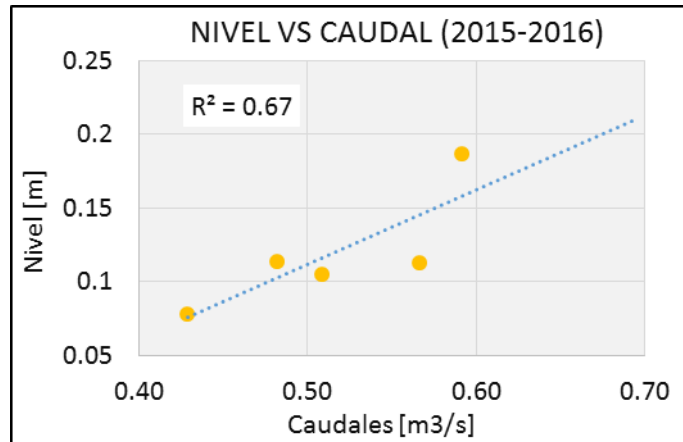
Figura 43. Curva de calibración El Rasgón 2013-2014



Las correlaciones (R^2) que se muestran en las curvas de calibración de 2012 y 2013-2014, tienen un valor aceptable dentro de los estándares establecidos por el

IDEAM, sin embargo, para el año 2015, los datos no se ajustan a una curva (Figura 44) ya que son muy dispersos, con una correlación de 0,67.

Figura 44. Aforos del Rasgón 2015-2016



La dispersión de los datos puede estar asociada a problemas de colmatación en la estación o a la variabilidad de la sección de aforos por arrastre de sedimentos. Para una mayor precisión y confiabilidad de la curva de calibración se recomienda realizar más aforos en el año y que estos se realicen tanto para época lluviosa como para época seca.

5.5.3. Caudales

A partir de las curvas de calibración se obtienen los valores de caudales, en su análisis se identificaron eventos de gran magnitud, dentro de los cuales se resalta los años de 2013 y 2014 en donde se presentaron caudales de hasta 27 m3/s y 15 m3/s respectivamente. En la Figura 45 se muestran los valores de caudal máximo en 24 horas para cada mes en cada año de registro.

En el Anexo 3 se puede observar el comportamiento de los caudales de cada año, en donde se identifica un flujo base entre 0,2 y 1.0 m3/s. Finalmente en la Figura

46 se muestran los valores de los caudales medios diarios, y se observa una tendencia a la baja en el caudal base.

Figura 45. Caudal máximo instantáneo mensual

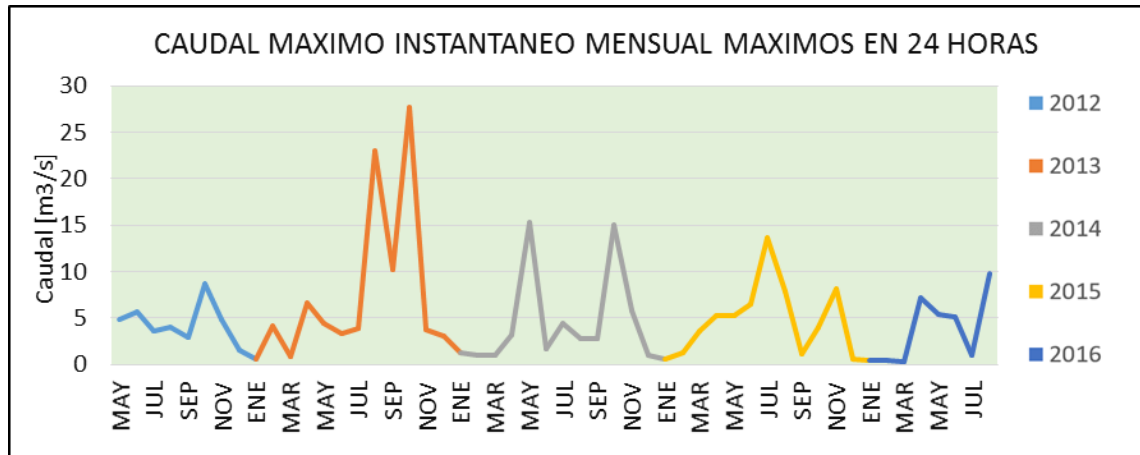
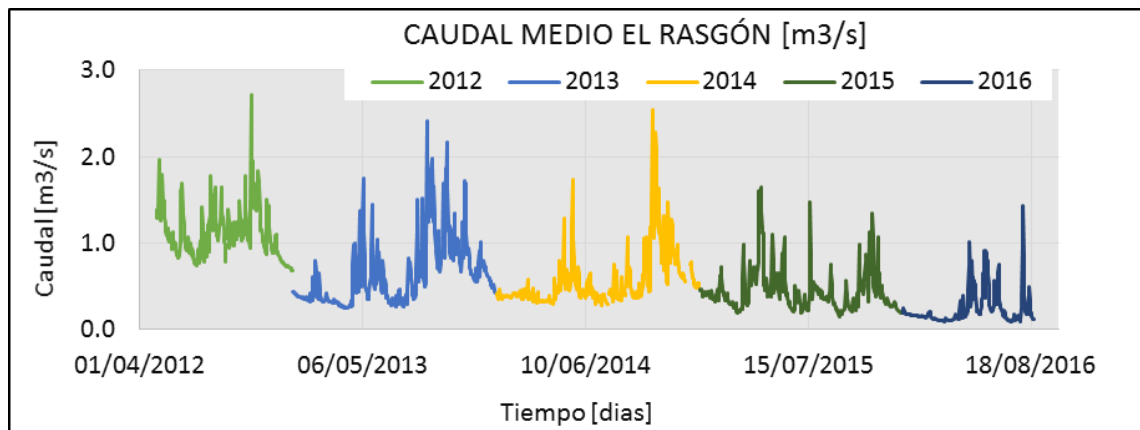


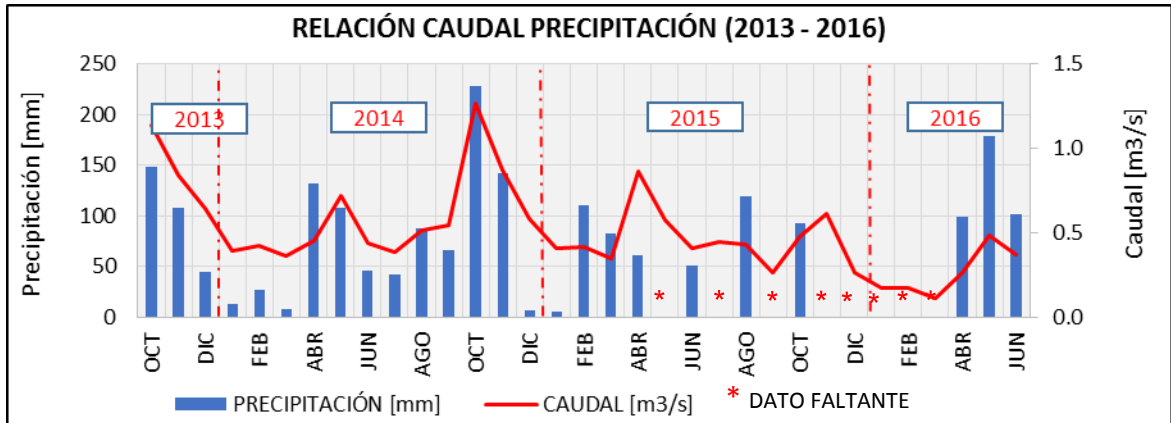
Figura 46. Caudal medio diario mayo 2012- agosto 2016



5.5.4. Relación caudal y precipitación

Para identificar la relación que existe entre los eventos de lluvias y el comportamiento de caudales en un momento dado, se muestran en la Figura 47, los valores medios mensuales de precipitación y caudales para el periodo comprendido entre octubre de 2013 y junio de 2016.

Figura 47. Relación caudal precipitación 2013 - 2016



6. CONCLUSIONES

Durante el funcionamiento de las estaciones automáticas no es posible tener una serie continua, debido al porcentaje de meses faltantes producto de daños en los equipos, fallas en el suministro de energía o falta de personal para el funcionamiento y mantenimiento de la red. En cuanto a las estaciones análogas de Sevilla y El Rasgón se cuenta con registros pluviométricos desde 1981 hasta el 2010, con un 5 % y 7 % de datos faltantes anuales respectivamente.

El comportamiento de las lluvias en la microcuenca Río de Oro Alto presenta un régimen de tipo bimodal, en donde se observan periodos de lluvia y poca lluvia. Los periodos de lluvia se encuentran comprendidos entre abril-mayo y septiembre-octubre con aproximadamente el 45 % de la precipitación. Para la información de lluvia de las estaciones automáticas no se puede observar el ciclo anual de lluvias debido al porcentaje de meses faltantes. En cuanto a la intensidad de la lluvia, predominan las lluvias débiles con más del 60% de los eventos.

Respecto a las variables climatológicas medidas en la microcuenca, los datos de UV (máximos) reflejan valores altos según los rangos de categoría de exposición propuestos por la organización mundial de la salud (WHO), lo cual afecta la salud de los habitantes de la zona. Las velocidades de vientos son consideradas bajas (no supera los 5 m/s) y las humedades relativas varían entre 80% y 95%. Por último, Las temperaturas analizadas son valores medios que varían entre los 15°C y los 24°C, presentándose los valores más bajos en la parte alta de la microcuenca.

Para la elaboración de las curvas de calibración se utilizó únicamente la información de aforos de 2012 a 2014, los datos para los años de 2015 y 2016 son muy dispersos y no se ajustan a una curva de calibración. La dispersión de los

datos puede estar asociada a problemas de sección variables en el cauce, colmatación en la estación por falta de mantenimiento al interior del tubo limnimétrico o malas prácticas en la realización de aforos. Por otra parte, los aforos procesados para el cálculo de la curva de calibración son pocos y estos no se realizaron teniendo en cuenta épocas lluviosas y secas, por lo cual no dan una buena confiabilidad a la curva.

Finalmente, para el comportamiento de caudales se encontró que el nivel de flujo base para el Río de Oro en el sector del Rasgón ha venido descendiendo, sin embargo, los resultados pueden ser afectados por las condiciones de la sección y la localización de la estación, o por el contrario puede ser consecuencia de captaciones aguas arriba del punto de monitoreo.

7. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones tienen como finalidad mejorar los procedimientos y los análisis comprendidos en este documento de tal manera que se mejore la calidad de los resultados.

En primer lugar, se debe establecer un cronograma de actividades por parte de la CDMB para supervisar el mantenimiento y el correcto funcionamiento de los instrumentos y equipos pertenecientes a la red hidroclimatológica. El cronograma de actividades contempla fechas, prioridades e informes para cada actividad con el fin de garantizar: la continuidad de la información, el buen estado de los equipos y registros sobre fallas en la red. Se espera que el cronograma aporte a la confiabilidad de la información y reduzca los datos faltantes.

Por otra parte, hay que realizar lecturas de niveles en los cauces de manera continua mínimo dos veces al día, y realizar los aforos en la sección donde se localiza la estación limnimétrica, con el fin de generar curvas de calibración y disponer de información que permita obtener registros de caudales diarios, realización de hidrogramas y actualización de la base de datos corporativa. Por otra parte, se debe realizar un mayor número de aforos en cada estación, que representen caudales máximos y mínimos, para que sea posible analizar el comportamiento real de caudales en la microcuenca.

En cuanto a la información recolectada de las estaciones climatológicas automáticas se recomienda verificar los datos registrados, comparando con estaciones del IDEAM y realizar la curva de doble masa para examinar la consistencia de los datos. Por otra parte, se debe analizar la confiabilidad de la información, porcentaje de datos faltantes y prever posibles soluciones para el completamiento de la información. Después del análisis, se puede generar

reportes climatológicos mensuales de todas las variables climatológicas, con el fin de aprovechar la información y hacer más dinámica la actividad de la red.

Por último, se debe capacitar a las personas que realizar los trabajos de campo (aforos, recolección de información y mantenimiento de las estaciones climatológicas), para generar información confiable y concientizar de la importancia de disponer registros de información veraz y continua.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo. Bogotá D.C.: IDEAM, 2008. 116 p.
- [2] Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia. Climatología Colombiana. Bogotá D.C. 1965, vol. 23, no. 87-88.
- [3] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. [Sitio web]. Área de Jurisdicción. [Consulta: 1 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/web/asi-es-la-cdmb/area-de-jurisdiccion>
- [4] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Estudio de Plan de Ordenamiento Ambiental de la Subcuenca del Río de Oro, Área de Jurisdicción de la CDMB. Bucaramanga: CDMB, 2004. ORO.3453-04-CET 01.
- [5] SCHLUMBERGER WATER SERVICES. Manual de Divers® [En Línea]. [Delft, Países Bajos]: noviembre de 2014. [Citado 20 de agosto de 2016] Disponible en: <http://www.novamatrixgm.com/groundwater-services-contact>
- [6] ARCMAP. [sitio web]. Comprender el análisis de radiación solar. [Consulta: 12 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-solar-radiation-analysis.htm>
- [7] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Índice UV solar mundial Guia practica. Ginebra: OMS, 2003. 4p. ISBN 92-4-359007-3.
- [8] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Meteorología y climatología; unidad didáctica: Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004. Madrid: La Fundación, 2004. 141p. ISBN 84-688-8535-5.
- [9] ANDRADES RODRIGUEZ, Marisol y MUÑOZ LEÓN, Carmen. La humedad atmosférica. En: Fundamentos de climatología. España: Universidad de la

- Rioja, 2012. 43p ISBN 978-84-695-2799-3.
- [10] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Meteorología y climatología; unidad didáctica: Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004. Madrid: La Fundación, 2004. 20p. ISBN 84-688-8535-5.
- [11] ANDRADES RODRIGUEZ, Marisol y MUÑEZ LEÓN, Carmen. Nubosidad y precipitación. En: Fundamentos de climatología. España: Universidad de la Rioja, 2012. 49p ISBN 978-84-695-2799-3.
- [12] PÉREZ PRECIADO, Alfonso. Métodos para elaborar curvas de calibración en cauces aluviales. Bogotá D.C.: INCORA, 1969. 42 p.
- [13] COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana [en línea]. 40 p. [Consultado 28 de agosto 2016]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf
- [14] Sol-arq. [Sitio web]. Radiación solar en la Tierra. [Consulta: 12 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.sol-arq.com/index.php/radiacion-solar/radiacion-tierra>
- [15] MEJÍA, Freddy, et al. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. Trabajo de grado Aprovechamiento del recurso hídrico. Bogota D.C.: Universidad Nacional de Colombia, DYNA 1999.

BIBLIOGRAFÍA

ARCMAP. [Sitio web]. Comprender el análisis de radiación solar. [Consulta: 12 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-solar-radiation-analysis.htm>

COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana [en línea]. 40p. [Consultado 28 de agosto 2016]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf

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

FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Meteorología y climatología; unidad didáctica: Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004. Madrid: La Fundación, 2004. 141 p. ISBN 84-688-8535-5.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá D.C.: IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA, 2007. 163 p. ISBN 978-958-8067-23-0.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Guía de prácticas climatológicas. Ginebra: OMM, 2011, nro. 100. ISBN 978-92-63-30100-0.

ANEXO A: ANÁLISIS DE INTENSIDADES

NÚMERO DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN SEGÚN SU INTENSIDAD [mm/hr] - EL RASGÓN						
AÑO	Debil <2 mm/hr	Moderado 2,1 y 15 mm/hr	Fuerte 15,1 y 30 mm/hr	Muy fuerte 30,1 y 60 mm/hr	Torrencial >60 mm/hr	TOTAL ANUAL
2013	167	74	4	1	0	246
2014	558	179	18	3	1	759
2015	524	173	7	2	1	707
2016	202	69	6	4	0	281
CONSOLIDADO 2011-2013						
	1451	495	35	10	2	1993
PROPORCIÓN %	72.8%	24.8%	1.8%	0.5%	0.1%	

NÚMERO DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN SEGÚN SU INTENSIDAD [mm/hr] - SEVILLA						
AÑO	Debil <2 mm/hr	Moderado 2,1 y 15 mm/hr	Fuerte 15,1 y 30 mm/hr	Muy fuerte 30,1 y 60 mm/hr	Torrencial >60 mm/hr	TOTAL ANUAL
2011	403	263	24	5	2	697
2012	578	367	30	40	1	1016
2013	388	177	19	9	1	594
CONSOLIDADO 2011-2013						
	1369	807	73	54	4	2307
PROPORCIÓN %	59.3%	35.0%	3.2%	2.3%	0.2%	

NÚMERO DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN SEGÚN SU INTENSIDAD [mm/hr] - PAJONAL						
AÑO	Debil <2 mm/hr	Moderado 2,1 y 15 mm/hr	Fuerte 15,1 y 30 mm/hr	Muy fuerte 30,1 y 60 mm/hr	Torrencial >60 mm/hr	TOTAL ANUAL
2012	389	139	21	5	4	558
2013	396	162	24	20	2	604
2014	247	133	15	13	2	410
2015	84	39	7	5	0	135
CONSOLIDADO 2011-2013						
	1116	473	67	43	8	1707
PROPORCIÓN %	65.4%	27.7%	3.9%	2.5%	0.5%	

ANEXO A: ANÁLISIS DE INTENSIDADES (continuación)

INTENSIDAD MÁXIMA MENSUAL ESTACIÓN EL RASGÓN 2013-2016 [mm/hr]													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX ANUAL
2013									DF	12.60	21.20	6.40	21.20
2014	5.60	6.00	3.00	23.20	8.60	11.80	13.00	6.40	6.40	35.00	17.40	2.60	35.00
2015	2.20	12.60	8.40	13.40	DF	6.00	DF	30.80	DF	16.00	DF	DF	30.80
2016	DF	DF	DF	16.20	16.60	15.40							

INTENSIDAD MÁXIMA MENSUAL ESTACIÓN SEVILLA 2011-2013 [mm/hr]													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX ANUAL
2011	0.00	12.95	23.88	15.24	DF	DF	DF	21.34	8.38	44.70	31.24	4.32	44.70
2012	21.59	25.15	27.69	26.67	18.80	4.83	8.13	7.37	12.70	12.95	6.86	39.62	39.62
2013	3.05	29.97	6.86	14.22	20.07	4.32	27.94	22.86	29.21	11.18	DF	DF	29.97

INTENSIDAD MÁXIMA MENSUAL ESTACIÓN PAJONAL 2012-2015 [mm/hr]													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX ANUAL
2012				18.80	40.80	3.60	11.80	14.00	18.80	34.40	33.00	10.60	40.80
2013	18.80	48.60	3.60	3.20	15.00	25.40	DF	28.40	14.60	18.00	DF	25.00	48.60
2014	8.60	DF	DF	DF	DF	5.00	23.60	20.00	13.60	30.40	DF	7.00	30.40
2015	20.80	18.20	21.60										

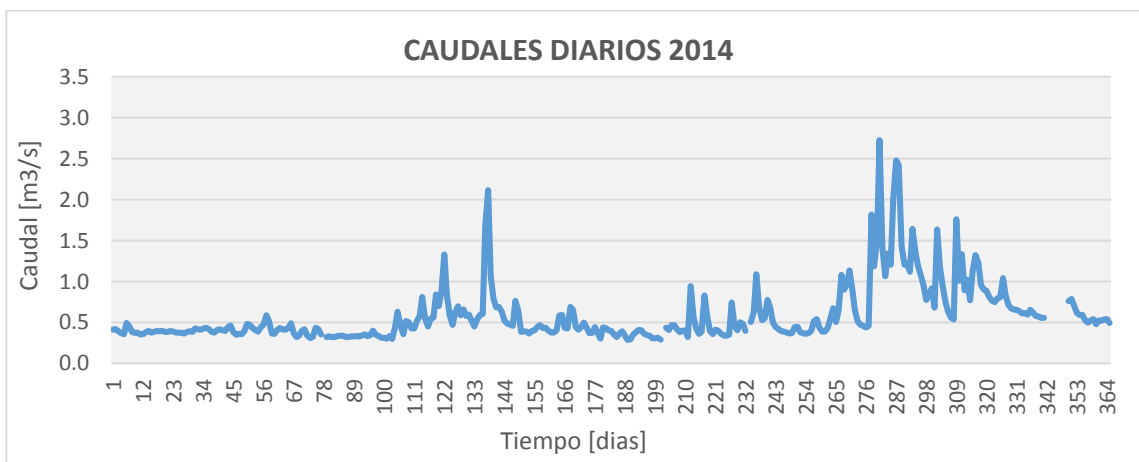
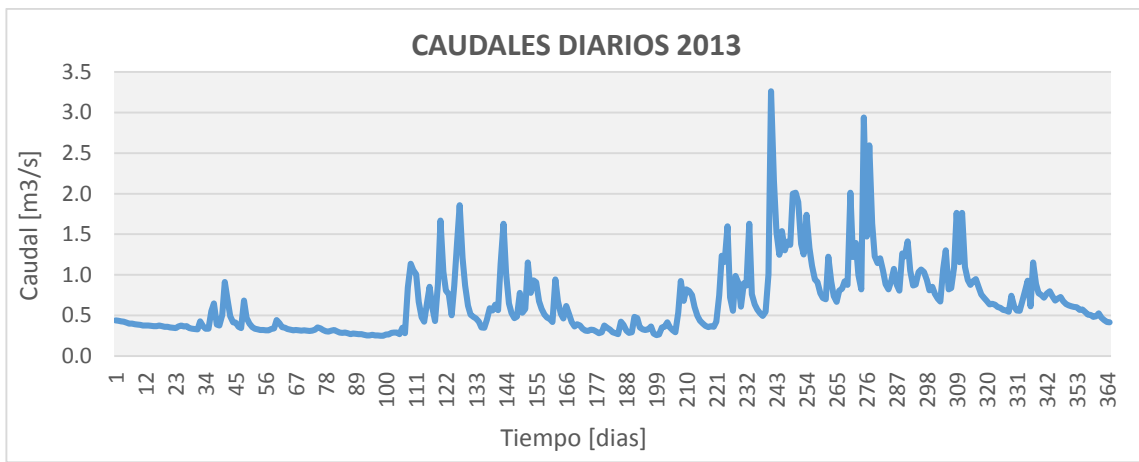
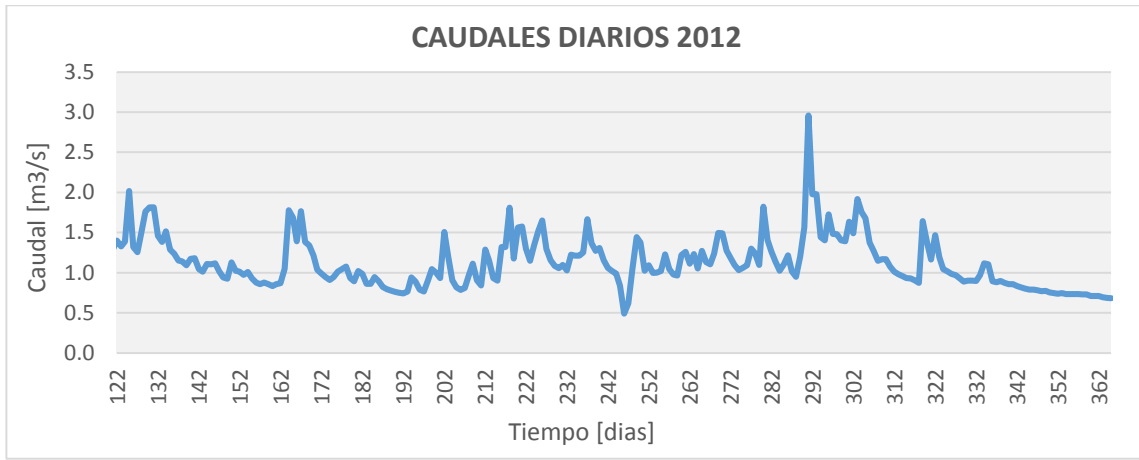
ANEXO B: NIVELES



ANEXO B: NIVELES (continuación)



ANEXO C: CAUDALES DIARIOS



ANEXO C: CAUDALES (continuación)

