

**APOYO EN EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA  
PARA LA GENERACIÓN DE INDICADORES DEL ESTUDIO REGIONAL DEL  
AGUA DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA  
REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA.**

**PRESENTADO POR  
ARTURO ARIAS PORTILLA.  
ID: 000241962**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2017**



**APOYO EN EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA  
PARA LA GENERACIÓN DE INDICADORES DEL ESTUDIO REGIONAL DEL  
AGUA DEL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA  
REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA.**

**PRESENTADO POR  
ARTURO ARIAS PORTILLA.  
ID: 000241962**

**DIRECTOR ACADÉMICO  
SANDRA ROCÍO VILLAMIZAR AMAYA  
Ingeniera civil**

**DIRECTOR EMPRESARIAL  
MARÍA CARMENZA VICINI MARTÍNEZ  
Ingeniera civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2017**

## DEDICATORIA.

A Dios

A mis padres y mi hermana que han sido el apoyo fundamental e incondicional en todo momento por sus enseñanzas, el amor y paciencia que me brindan, por ser el motor de mi vida.

A mis familiares y amigos que me han permitido aprender y crecer como persona a su lado, por ese apoyo incondicional en momentos difíciles.

¡Gracias!

## AGRADECIMIENTO.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a aquellas personas que han contribuido en este proceso de aprendizaje y crecimiento como persona y como profesional; pues más que un requisito académico es la culminación de un reto propuesto y es el inicio de nuevos proyectos.

En primer lugar, debo agradecer a Dios que es el que ha hecho esto posible, el que día a día me da la fortaleza, la salud y sabiduría necesaria para afrontar y realizar cada meta que me proponga.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, a los docentes y profesionales que a lo largo de la carrera contribuyeron en el proceso de aprendizaje, compartiendo sus conocimientos y experiencias.

Y de manera muy especial quiero agradecer a:

- La Ingeniera Sandra Rocío Villamizar Amaya, supervisora académica de mi práctica empresarial, por su entrega, colaboración, paciencia y valiosa orientación.
- Al Ingeniero Carlos Mauricio Torres Galvis, por haberme brindado su paciencia, tiempo y disposición para orientarme ante cualquier duda que se me atravesara en mi camino, a la ingeniera María Carmenza Vicini Martínez, supervisora empresarial, por haber confiado en mí en el transcurso del periodo de práctica.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	viii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 GLOSARIO.....	4
3.1 POMCA:.....	4
3.2 Cuenca.....	4
3.3 Oferta de agua superficial.....	4
3.3.1 Oferta hídrica total superficial (OHTS).....	4
3.3.2 Oferta hídrica disponible (OHTD).....	4
3.3.3 Oferta hídrica regional disponible (OHRD).....	4
3.3.4 Oferta hídrica regional aprovechable (OHRA):.....	4
3.4 Caudal ambiental (Qamb).....	5
3.5 Caudal de retorno (Qr).....	5
3.6 Caudal de trasvase (Qtr):.....	5
3.7 Caudal medido en la estación representativa (Qest):.....	5
3.8 Caudal extraído (Qex):.....	5
4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	6
4.1 Aspectos institucionales.....	6
4.1.1 Objeto.....	6
4.1.2 Misión.....	6
4.1.3 Visión.....	6
4.2 Estructura Organizacional.....	6
5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	7
6 DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	9
7 APOORTE AL CONOCIMIENTO.....	11
7.1 Eliminación de posibles valores atípicos o anómalos por medio de Boxplot 11	
7.2 Llenado de series incompletas.....	12

7.3	Conceptos relacionados a la Precipitación. ....	16
7.3.1	Precipitación total mensual. ....	16
7.3.2	precipitación media mensual. ....	16
7.3.3	Precipitación total anual. ....	16
7.3.4	Precipitación Máxima en 24 Horas. ....	17
7.4	Evapotranspiración potencial (ETP). ....	17
7.5	Evapotranspiración Real (ETR). ....	18
7.6	Balance hídrico: ....	18
7.7	Hidrología. ....	19
7.7.1	Oferta Hídrica Total ....	19
7.7.2	Caudal Ambiental. ....	20
7.7.3	Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD): ....	20
7.7.4	Oferta Hídrica Regional Aprovechable (OHRA): ....	21
7.8	Demanda hídrica (Dh).....	21
7.8.1	Consumo humano o doméstico (DUD):.....	22
7.8.2	Consumo en sector agrícola (DUA):.....	22
7.8.3	Consumo pecuario (DUP): ....	23
7.8.4	Consumo industrial (DUI): ....	23
7.9	Índice de aridez. ....	24
7.10	Índice de retención y regulación hídrica (IRH).....	24
7.11	Índice de uso del agua (IUA). ....	25
7.12	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVDH).....	26
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	28
7.	Bibliografía.....	29

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Estructura organizacional CDMB. [13].....	7
Figura 2: Ubicación Cuenca en cartografía general IGAC. [18].....	8
Figura 3: Identificación de valores atípicos. [18].....	12
Figura 4: Estaciones agrupadas. ....	13
Figura 5: Estación con datos ordenados.....	14
Figura 6: datos de estaciones D, A, B, C, respecto al mes a evaluar.....	14
Figura 7: Correlación estación D con estación A, B, C. ....	15
Figura 8: correlación estación D con las estaciones agrupadas. ....	15
Figura 9: Estación con datos ordenados.....	16
Figura 10 Bosquejo del balance hídrico [18]. ....	19

### LISTA DE TABLAS.

Tabla 1 cálculo de caja de bigotes .....	11
Tabla 2: Convenciones.....	16
Tabla 3: Categorías índices de Aridez. [21].....	24
Tabla 4 Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH) [5] .....	25
Tabla 5 Rangos y categorías del índice de uso del agua (IUA) [5].....	26
Tabla 6 Categorías del Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento [5] .....	27



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** APOYO EN EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN  
HIDROCLIMATOLÓGICA PARA LA GENERACIÓN DE  
INDICADORES DEL ESTUDIO REGIONAL DEL AGUA DEL ÁREA DE  
JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL  
PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

**AUTOR(ES):** Arturo Arias Portilla

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Sandra Rocio Villamizar Amaya

### RESUMEN

La cuenca del río Alto Lebrija se encuentra dentro de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga -CDMB. En el marco de los lineamientos dados por el IDEAM (2013) para el desarrollo de las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) y de la reciente finalización del POMCA (Plan de Ordenamiento y Manejo) de dicha cuenca, la CDMB requirió el apoyo para analizar la información recibida en dicho documento y generar los indicadores del ERA. Este documento muestra el trabajo que realicé para soportar estos propósitos al interior de la CDMB. El aporte al conocimiento presenta la descripción de las metodologías aplicadas para el análisis de información meteorológica y el cálculo de los parámetros e indicadores del ERA para la cuenca de estudio.

### PALABRAS CLAVE:

Indicadores, cuenta, agua superficial, parámetros hidroclimatológicos, caracterización

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** SUPPORT IN THE ANALYSIS OF THE HYDROCLIMATOLOGICAL INFORMATION FOR THE GENERATION OF INDICATORS OF THE REGIONAL STUDY OF THE WATER OF THE AREA OF JURISDICTION OF THE REGIONAL AUTONOMOUS CORPORATION FOR THE DEFENSE OF THE MESETA DE BUCARAMANGA.

**AUTHOR(S):** Arturo Arias Portilla

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Sandra Rocio Villamizar Amaya

### ABSTRACT

The basin of the Alto Lebrija River is within the jurisdiction of the Corporación Autónoma Regional de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga-CDMB. Within the framework of the guidelines given by IDEAM (2013) for the development of the Regional Water Assessments (ERA for its Spanish definition) and the recent completion of the POMCA (Ordering and Management Plan) of the Alto Lebrija Basin, the CDMB required support to analyze the information received in said document and generate the ERA indicators. This document shows the work I did to support these purposes within the CDMB. The contribution to knowledge presents the description of the methodologies applied for the analysis of meteorological information and the calculation of the parameters and indicators of the ERA for the study basin.

### KEYWORDS:

Indicators, basin, surface water, hydro-climatological parameters, characterization.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1 INTRODUCCIÓN

El Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca, POMCA, es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. [1] El Plan de manejo y ordenamiento de una cuenca se reglamenta por el Decreto-Ley 2811 de 1974 [2] en relación con los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuenca hidrográficas y acuíferos del país, de conformidad con la estructura definida en la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico [2]; y el Decreto 1729 de 2002 [3], que establece que la ordenación de una cuenca tiene por objeto principal la caracterización de sus recursos ambientales representada en el diagnóstico, el cual refleja su estado actual, el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables; de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos.

Ahora bien, el Decreto 1640 del 2012 en su artículo 8 dispone que las autoridades ambientales competentes elaborarán las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) que comprenden el análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y análisis de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción para la zonificación hidrográfica de la autoridad ambiental, teniendo como base las subzonas hidrográficas. [4] La finalidad de la ERA es la gestión integrada del agua en las regiones y requiere información y conocimiento adecuados sobre las características, el comportamiento y el estado del agua (en cantidad y calidad), expresados en la distribución espacial y variación temporal de variables asociadas a la oferta y disponibilidad, calidad, uso y demanda, riesgos de los sistemas hídricos y su aprovechamiento asociados a la variabilidad climática e hidrológica, las actividades humanas actuales y proyectadas y posibles escenarios de cambio climático [5]. Es así que con él ERA se evalúa el estado, dinámica y tendencias de los sistemas hídricos como resultado de la interacción de procesos naturales y antrópicos para una adecuada administración, uso y manejo sostenible del agua en las regiones.

En el marco de la elaboración de los POMCA y los ERA, fue indispensable la información climatológica para tener evidencia sobre las condiciones climáticas de otras épocas como las inundaciones, sequías y sus efectos sobre el ambiente [6]. Adicionalmente fue necesario la información hidrométrica que permite medir la velocidad, el caudal y la fuerza de las vertientes hídricas, y los levantamientos altimétricos de los perfiles longitudinal y transversal del cauce de las corrientes naturales [7].

Este documento presenta el trabajo realizado en el marco de la práctica empresarial en la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). El trabajo consistió en el análisis de la información hidroclimatológica existente en el documento Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Cuenca del Río Lebrija Alto y el desarrollo de los indicadores contemplados en el Estudio Regional del Agua ERA para el área de jurisdicción de la CDMB.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Análisis de la información hidroclimatológica para la generación de indicadores del Estudio Regional del Agua (ERA) del área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

### 2.2 Objetivos específicos

- Sintetizar la información hidroclimatológica disponible en los planes de ordenamiento y manejo de cuencas del área de jurisdicción de la CDMB.
- Reconocer y generar los indicadores necesarios para el ERA a través del procesamiento de los datos hidroclimatológicos.
- Apoyar el proceso de generación del documento soporte para el ERA incluyendo conclusiones y recomendaciones a partir del trabajo realizado.

### 3 GLOSARIO

#### 3.1 POMCA:

Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de una cuenca hidrográfica, es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. [8]

#### 3.2 Cuenca

Entiéndase por cuenca el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. [8]

#### 3.3 Oferta de agua superficial.

Representa el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza por unidades temporales anuales y mensuales, en condiciones hidrológicas promedio, húmedas y año típico seco. La estimación de la oferta distingue dos tipos de cuencas hidrográficas (intervenidas y poco intervenidas), en función de si el régimen de caudales ha sido significativamente alterado o no por la acción antrópica. Además, contempla los siguientes conceptos. [9]

##### 3.3.1 Oferta hídrica total superficial (OHTS).

Volumen total de agua que fluye sobre la superficie del terreno y se concentra en los cauces de los ríos y en los cuerpos de agua lénticos. Se representa por el caudal total de escorrentía ( $Q_t$ ).

##### 3.3.2 Oferta hídrica disponible (OHTD).

Volumen promedio de agua que resulta de sustraer de la oferta hídrica total superficial (OHTS) el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental ( $Q_{amb}$ ). Se representa por el caudal disponible  $Q_d$ .

##### 3.3.3 Oferta hídrica regional disponible (OHRD).

Volumen promedio de agua que resulta de adicionar a la oferta hídrica disponible (OHTD) los volúmenes de agua de retorno ( $Q_r$ ) de los diferentes usos y de sumar o restar los caudales de trasvase ( $Q_{tr}$ ) desde o hacia otras cuencas. Es la oferta que se utiliza para el cálculo del índice de uso del agua (IUA). Se representa por el caudal disponible regional  $Q_{dr}$ .

##### 3.3.4 Oferta hídrica regional aprovechable (OHRA):

Volumen promedio de agua que resulta de restar del volumen medido en la

estación hidrométrica de referencia, representativa de la unidad de análisis, el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental. Se representa por el caudal hídrico regional aprovechable  $Q_{hra}$ .

#### 3.4 Caudal ambiental ( $Q_{amb}$ ).

Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad, para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas (Decreto 3930/2010) [10] Dada su importancia, este caudal debe estimarse con base en criterios hidrológicos, hidráulicos, biológicos y socioeconómicos. Dado que a la fecha el IDEAM no ha establecido una metodología específica de cálculo, se ha propuesto utilizar los caudales  $Q_{75}$  o  $Q_{85}$  de la curva de duración de caudales diarios (en caso de disponerse de series de tiempo de caudal), o de caudales mensuales (en caso de usar modelos lluvia-escorrentía). En caso de utilizar caudales mensuales, el procedimiento contempla un factor de ajuste resultante de la relación entre los caudales diarios y mensuales para estas frecuencias, calculada para estaciones de ríos vecinos con información diaria. [9]

#### 3.5 Caudal de retorno ( $Q_r$ ).

Caudal retornado a las corrientes o cuerpos de agua por cada usuario. Depende del tipo de uso y de las condiciones climáticas y tecnológicas. Por ejemplo, para el uso residencial doméstico, el RAS 2000 [11] recomienda entre 0,75 y 0,85 del caudal extraído o usado, que, en principio, va al alcantarillado. [9]

#### 3.6 Caudal de trasvase ( $Q_{tr}$ ):

Caudal de agua que se desvía de una cuenca a otra, para aumentar la disponibilidad. En el caso de una unidad de análisis específica, puede ser positivo (si entra) o negativo (si sale hacia otra cuenca). [9]

#### 3.7 Caudal medido en la estación representativa ( $Q_{est}$ ):

Caudal medido en la estación hidrométrica de referencia, que debe ser representativa de la unidad de análisis correspondiente. [9]

#### 3.8 Caudal extraído ( $Q_{ex}$ ):

Caudal total extraído de una fuente para la atención de las demandas de los diferentes usos. [9]

## **4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga -CDMB-, es un ente corporativo autónomo creado por la ley 99 de 1993 [12], de carácter público, que se relaciona con el nivel nacional, departamental y municipal y está integrado por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica.

La Entidad está dotada de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica; encargada por la ley de administrar dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. [13]

### **4.1 Aspectos institucionales**

#### **4.1.1 Objeto.**

La Corporación autónoma regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, tiene por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. [14]

#### **4.1.2 Misión.**

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB, es un ente corporativo de carácter público, creada por ley, encargada de la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos en materia de ambiente, recursos naturales renovables y cambio climático, aplicando las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento. [15]

#### **4.1.3 Visión**

En el año 2031, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, será una entidad de referencia por su gestión ambiental eficiente y eficaz en su jurisdicción, contribuyendo a la protección de la vida de hoy y garantizando la del mañana. [15]

### **4.2 Estructura Organizacional**

La CDMB tiene órganos de dirección, encabezados por la Asamblea General o Asamblea Corporativa. Su organización se basa en Subdirecciones y sus respectivos grupos internos de trabajo que permiten una gestión efectiva y eficiente acorde a las necesidades y retos que se le encomiendan, en la Figura 1 se presenta



la estructura general de organización de la CDMB [16]. En mi caso particular, la práctica empresarial está supervisada por la subdirectora María Carmenza Viccini, que pertenece a la Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio.

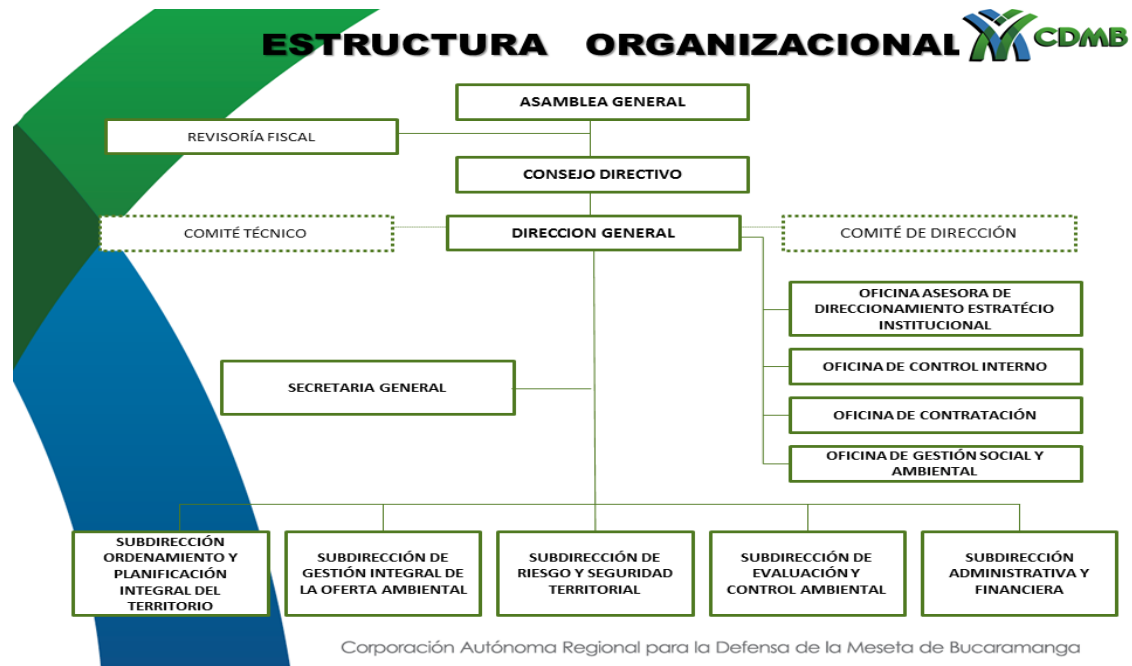


Figura 1: Estructura organizacional CDMB. [13]

## 5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Durante el tiempo de práctica empresarial me correspondió trabajar en el análisis de la información relacionada con la consultoría para el Ajuste (actualización) del POMCA Alto Lebrija (código 2319-01). El proyecto se adjudicó a la Unión Temporal Río Lebrija Alto 2015 en el mes de diciembre de 2015 mediante la celebración del contrato No. 10111-04 de 23 de diciembre de 2015. Las labores iniciaron en el mes de febrero de 2016, y a la fecha se encuentra en ejecución en su fase de aprobación. [17]

La cuenca del Río Alto Lebrija forma parte de la Cuenca Río Lebrija, y se encuentra localizada en el departamento de Santander. Esta cuenca, que está bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), posee una extensión total de 2,172,295 Km<sup>2</sup>. En el sistema de coordenadas proyectadas Magna Sirgas origen Bogotá, sus coordenadas de

encuadramiento son X: 1.109.000/1.114.000 y Y: 1.260.000/1.320.000. En términos de las planchas IGAC a escala 1:25.000, el sector de estudio se ubicó en las planchas 109 y 120 (ver Figura 2).

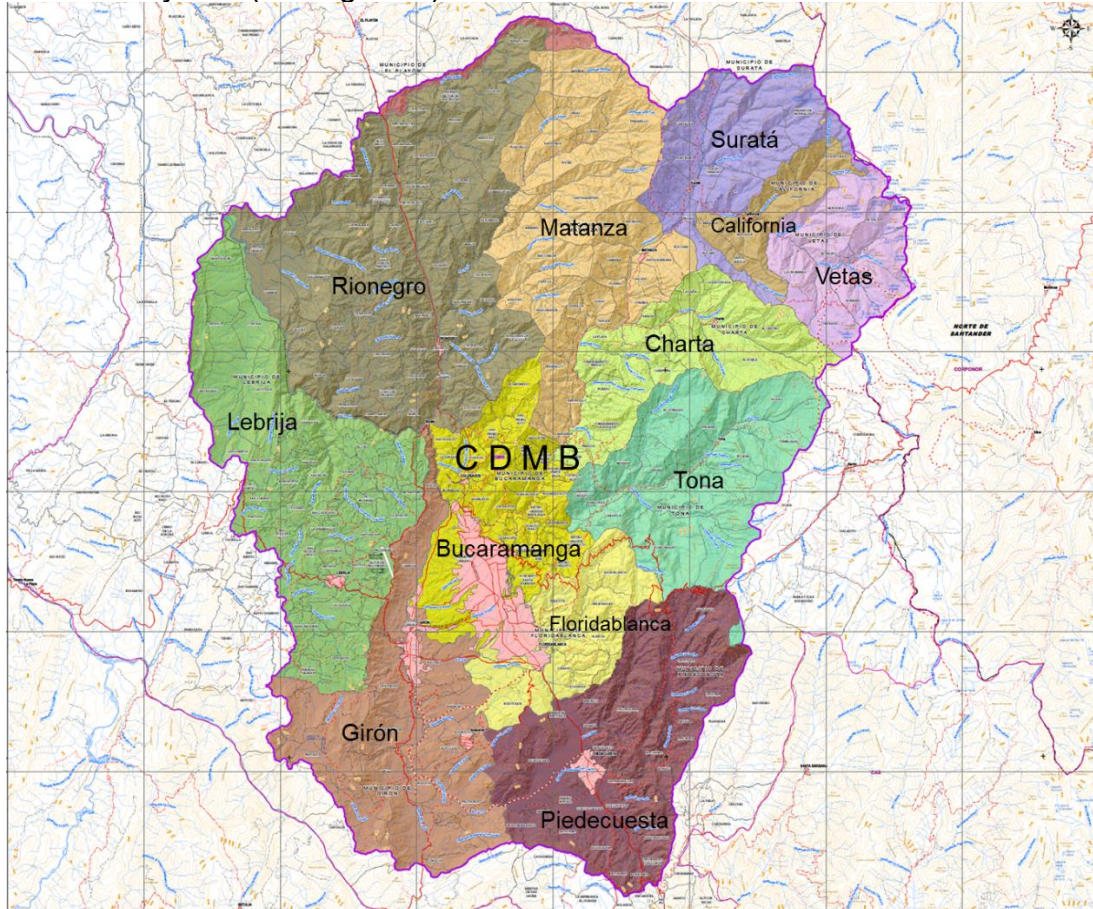


Figura 2: Ubicación Cuenca en cartografía general IGAC. [18]

Siendo la cuenca Río Alto Lebrija la de mayor interés para la CDMB la cuenca se encuentra dividida con cuatro (4) áreas o zonas importantes las cuales abastecen a centros urbanos como: La primera corresponde al área del Río Suratá que abastece a la población de Bucaramanga y su área metropolitana encontrando las captaciones sobre la cuenca del río Tona y la estación de bombeo de Bosconia sobre el Río Suratá; la segunda área, se encuentra delimitada por la parte alta de la subcuenca La Angula, abastecedora de la población de Lebrija; como tercera área corresponde la aparte alto del Río Frio abastecedora de la población de Floridablanca, y como última y cuarta área se define la parte superior de la subcuenca Río de Oro Alto que abastece a la comunidad de Piedecuesta [18]. Todo ello necesario para un adecuada administración, uso y manejo sostenible de agua en la región.

## 6 DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

Durante el período de práctica en la CDMB apoyé las labores de análisis de la información hidro-climatológica entregada por el consultor en el marco de la actualización del POMCA del río Alto Lebrija. Inicialmente, trabajé en el reconocimiento de los documentos entregados por el contratista, que se enfocaban en la caracterización física de la cuenca (clima, hidrografía, morfología, pendientes, etc.). Una vez finalizado el reconocimiento inicial, trabajé en la revisión de diferentes anexos al documento que se dedicaban a presentar datos de precipitación, temperatura, brillo solar, evaporación y húmeda, curvas IDF, evaporación potencial, evapotranspiración relativa, balance hídrico, indicador de aridez, duración de caudales, etc.

Así mismo, revisé unos documentos anexos al POMCA. El primer anexo hace referencia al proceso de la selección de estaciones climáticas e hidrológicas en el área de estudio. Para este anexo revisé que tuviera disponible la información requerida para realizar el estudio del ERA (Brillo solar, Evaporación, Precipitación y Temperatura). Adicionalmente, hice una evaluación de la calidad de la información de las estaciones seleccionadas. Este proceso consistió en identificar datos que hubiesen podido tener errores en su anotación o en la importación de documentos a otro programa; igualmente, fue necesario graficar los datos por medio de cajas de bigotes para, visualmente, identificar datos poco probables. El desarrollo de esta última actividad se describe en la sección 7.1

El segundo anexo, que refiere la serie de brillo solar, evaporación, precipitación y temperatura, se observó que en algunas estaciones se presentó dificultades por discontinuidad en las series, casos varios meses en el año o varios años seguidos, siendo necesario aplicar técnicas estadísticas sencillas en la generación de estos datos faltantes. Para el relleno de las series históricas de precipitación, brillo solar, evaporación y temperatura, se tuvo en cuenta la metodología mencionada más adelante en la sección 7.2.

Para el tercer anexo, verifiqué los cálculos de evapotranspiración potencial, evapotranspiración real e índice de aridez para cada una de las estaciones, la cual se describen en las secciones 7.4, 7.5 y 7.9 de este informe. En el cuarto anexo revisé los cálculos de balance hídrico de acuerdo con el procedimiento presentado en el capítulo 7.6 de este documento.

En el anexo cinco respecto al cálculo de oferta hídrica total, caudal ambiental, oferta hídrica regional disponible y oferta hídrica aprovechable. Dichos cálculos fueron realizados de acuerdo a lo presentado en los capítulos 7.7.1, 7.7.2, 7.7.3 y 7.7.4, respectivamente.

Como último de los anexos revisados fue el número seis donde se establecen los

cálculos de demanda hídrica, estos se realizaron de acuerdo con el capítulo 7.8 más adelante de este documento.

Finalmente, trabajé en la generación de los índices de retención y regulación hídrica, uso del agua, y vulnerabilidad de desabastecimiento. Para su cálculo, empleé lo presentado en los capítulos 7.10, 7.11 y 7.12, respectivamente. Así mismo, en el índice de retención y regulación hídrica realicé una comparación con caudales calculado y caudales registrados en las estaciones hidrométricas.

Como resultado de lo anterior, apoyé el desarrollo del documento piloto del Estudio Regional del Agua a partir de los cálculos que describí anteriormente. A la fecha se encuentra en proceso de revisión por parte de mi supervisora empresarial (ingeniera María Carmenza Vicini) y un contratista asesor (ingeniero Carlos Mauricio Torres).



## 7 APOORTE AL CONOCIMIENTO

El aporte al conocimiento de este informe de práctica empresarial se dedica fundamentalmente a presentar en detalle los cálculos realizados para obtener los parámetros que se constituyen en la base del cálculo de los indicadores del ERA. Adicionalmente, las secciones 7.1 y 7.2 presentan dos procesos que son importantes para el análisis de datos. El primero presenta la estrategia de eliminación de datos anómalos por medio de cajas de bigotes (*boxplots*), y el segundo se dedica a mostrar una estrategia para completar datos de precipitación faltantes.

### 7.1 Eliminación de posibles valores atípicos o anómalos por medio de Boxplot

El análisis de la caja de bigotes se utiliza para facilitar la revisión de posibles valores atípicos en una serie de datos. Se graficó por medio de cajas de bigotes (*boxplots*), el rango intercuartílico con el factor  $f$  de 4 para la precipitación y 3 para las demás variables, por el hecho de que la probabilidad que un dato se encuentre dentro de tres y cuatro veces el rango intercuartílico es 95.7% y 99.3%, respectivamente; además se calculan las diferentes estadísticas descriptivas. A manera de ejemplo, en la Tabla 1 y Figura 3, se muestran la identificación del valor atípico (triángulo verde) y el comportamiento de la serie una vez este valor se elimina. Este tratamiento se puede realizar para la precipitación, temperatura, brillo solar, humedad y evaporación.

Datos y Cálculos Estadísticos

Estadísticos	ESTACION 24030750 GUACA	ESTACION 23190300 EL PICACHO	ESTACION 37010060 EL PORTILLO	ESTACION 24030330 EL TOPE	ESTACION 23190450 VETAS-EL POZO	ESTACION 37015010 SILOS	ESTACION 37015020 BERLIN AUTOMATICA	ESTACION 16015020 ISER PAMPLONA	ESTACION 23190340 MATAJIRA	ESTACION 23190400 LA GALVICIA
Cuartil 1	58,33	41,95	43,00	54,60	28,13	31,65	27,33	34,45	28,68	92,00
Min	0,00	0,80	3,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,60	0,00	0,90
Mediana	112,15	85,95	80,00	80,00	65,40	65,30	48,65	60,70	64,85	140,65
Valor atípico	313,50	366,90	280,20	280,60	278,80	272,10	193,40	400,10	243,00	455,70
Cuartil 3	162,25	144,55	145,55	147,10	108,48	111,05	87,00	113,58	105,38	196,25

Tabla 1 cálculo de caja de bigotes

Diagrama de Cajas (Box Plot)

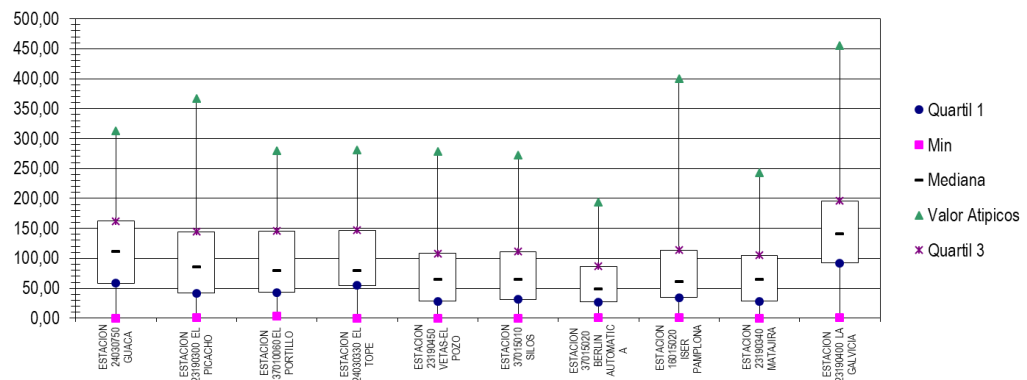


Figura 3: Identificación de valores atípicos. [18]

La metodología anterior sirvió para identificar posibles valores anómalos, sin embargo, se revisó cada valor que arrojó la metodología para determinar si se elimina o no, dado que un valor alto o por fuera del rango típico, no necesariamente es un error.

## 7.2 Llenado de series incompletas

Teniendo en cuenta la base de estaciones con sus respectivas series de precipitación, se analiza la altura de las estaciones y se conforman grupos para adelantar la complementación de series y el análisis de consistencia de las series. Dependiendo del número de datos a estimar, se utilizan dos metodologías lineales para el llenado de datos faltantes: (a) método de proporciones y (b) correlación, aplicando la metodología OMM (2011) [19] y la teoría contenida en el documento de Técnicas Estadísticas Aplicadas en el Manejo de Datos Hidrológicos y Meteorológicos, elaborado por la Dirección de Meteorología del IDEAM [20].

- a. **Método de proporciones:** Este método es utilizado en casos de que no existan datos de comparación y, por lo tanto, la serie tiene que servir de referencia para la complementación de los datos faltantes de sí misma.

$$X = \frac{(x(\text{media}) * Pf)}{(Pa - x(\text{media}))}$$

**Donde:**

**X:** mes faltante.

**x (media):** promedio del mes faltante,

**Pf:** total anual (del mes faltante).

**Pa:** total anual promedio.

- b. Método de correlación:** Plantea una asociación estadística numérica o gráfica, entre los datos de dos estaciones vecinas en una zona climatológicamente homogénea, para obtener datos faltantes mediante la ecuación obtenida, verificando a través del coeficiente de correlación  $R^2$ , si la correlación es aceptable o desechada.

En el caso de dispersión de pocos datos, con respecto a la tendencia general, se realizó el filtro con la media más la desviación estándar. Cuando el  $R^2$  (coeficiente correlación) no es adecuado (menor a 0,7), entonces se ensaya con otra estación o con otro método, para hallar los datos faltantes en la estación problema.

A continuación, se muestra el procedimiento que se lleva a cabo.

- Par el llenado de los datos faltantes de una estación; lo primero hacer es la agrupación de las estaciones de acuerdo a la altitud, la cercanía de las estaciones entre ellas; en Figura 4 muestra la agrupación realizada con las estaciones (S) BUCARAMANGA IDEAM, (T) LA LAGUNA, (U) APTO PALONEGRO, (V) LA FLORESTA.:

(S) ESTACION Z3190830 BUCARAMANGA IDEAM														(T) ESTACION Z3190260 LA LAGUNA																		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	PROM	ANUAL CORREG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	PROM	ANUAL CORREG	
2000	173.1	109	158.5	29.5	110.7	87.1	133.2	78.3	179.2	55.2	82	157	1211.5	100.98833	1211.5	2000																
2001	66.2	30	134.7	39.1	216.6	105.5	46.9	60.9	154.1	107.1	202.3	34.4	1197.8	99.816667	1197.8	2001	42	25	94	88	101	64	87	13	35	272	227	40	1088	90.666667	1088.00	
2002	45.5	65.2	115.3	197.5	104.7	133.2	89.4	42.7	53.5	64.8	92.8	20.3	1024.9	85.408333	1024.9	2002	9	19	86	104	105	90	29	39	42	99	51	39	711	59.25	711.00	
2003	54.2	178.3	139.1	151.2	105.9	202	111.2	75.9	231.7	169.9	142.3	88.4	1650	137.5	1650	2003	26	130	234	90	66	128	54	21	93	180	187	47	1256	104.666667	1256.00	
2004	89.7	79.7	150.2	100.5	135.9	31.3	86.3	103.2	75.5	136.9	146.2	180.5	1315.9	109.658333	1315.9	2004	41	73	78	76	159	40	43	54	72	186	84	66	971	80.916667	971.00	
2005	69.1	311.3	25	69	45.5	69.2	60.1	217.3	213.2	176.9	89.7	1467.9	122.325	1467.9	2005	142	283	53	259	145	96	69	43	83	187	211	20	1590	132.5	1590.00		
2006	74.3	92.5	183.4	181.1	71.3	77.1	86.3	74.3	170.4	57.5	64.9	1247.3	103.941667	1247.3	2006	78	96.1	83.7	60.6	176.9	88.8	59.9	75.3	102	265.7	94	26.3	1147.4	95.616667	1147.40		
2007	39.9	33	197.8	88.1	76.1	77.6	145.1	66	181.6	62.2	32.7	1119.9	93.325	1119.9	2007	52.3	49.7	55.7	81.4	86.9	40.4	136.6	96	79	24.6	916.51911	76.376667	916.52				
2008	81.9	287	274	88.7	158.7	73	63.8	93.4	78.3	119.2	149.7	21.5	1489.2	124.1	1489.2	2008	47.9	204.2	197.5	48.1	180.7	55.4	105.1	96.5	120.7	125.5	6.2	1256.4	104.7	1256.40		
2009	97.7	74.3	177.3	72.8	69.2	87.5	63.8	154.4	9.8	241.9	135.2	16.4	1200.3	100.025	1200.3	2009	46.7	67.7	129	120.7	67.3	155.9	65.6	44.6	13.4	180.9	66	5.5	962.3	80.916667	962.30	
2010	22.2	90.6	19.4	68	215.9	186.6	156.3	135.5	312.5	196.7	279.1	231	1903.8	158.65	1903.8	2010	0	34.7	28.4	46.3	220.8	75.3	149	150.4	136.4	142.7	160.1	119.4	1263.5	105.291667	1263.50	
2011	46.8	109.9	77.2	144.7	180.8	137.6	130.9	151.2	82.3	380.1	112.8	115.1	1669.4	139.116667	1669.4	2011	65.9	50.2	62.2	154	273.8	103.7	87.5	92.4	70.8	289.9	141	62.6	1454	121.666667	1454.00	
2012	52.5	77.8	102.7	226.1	68.3	150	80.6	99.1	61.5	101.3	83.9	130.5	1234.3	102.868333	1234.3	2012	101.7	17	129.5	200.8	24.7	17	63	63.6	90	177	16	117.7	963.3	80.275	963.30	
2013	84.1	224	95.4	31.6	185	45.6	30	117.9	85.1	91.7	135.8	4.9	1131.1	94.258333	1131.1	2013	34.5	111.5	70.9	26	135.3	34.9	54.5	140.6	26.9	94.6	129.8	8.5	868	72.333333	868.00	
2014	26.9	79.4	83.1	116.2	50.2	77.3	83.2	96.2	160.3	347.4	189	26.6	1313.8	109.483333	1313.8	2014	31.3	33.3	73.2	31.4	53.6	31.6	30.8	102.1					982.09445	81.841204	982.09	
PROM MENSUAL	68.273	122.8	128.9	106.9	130.4	100.6	86.63	99.95	122.8	171.2	135.2	71.51	112.10	112.10		PROM MENSUAL	51.16	82.46	98.15	98.95	128.62	73.68	64.29	74.14	81.31	123.6	42.39	91.61	91.89			

(U) ESTACION Z3195130 APTO PALONEGRO														(V) ESTACION Z3190590 LA FLORESTA																		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	PROM	ANUAL CORREG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	PROM	ANUAL CORREG	
2000	253.1	223.1	63	48.1	104.7	125.6	51.5	48	136.8	95.6	107.7	40.2	1297.4	108.116667	1297.4	2000	124.7	184.1	123.3	44.9	170	147.4	150.2	91.6	157.8	36.9	87.1	38.9	1356.9	113.075	1356.9	
2001	102.3	33.9	71.7	67.7	103.8	92.2	59.9	57.8	85.3	222.2	192.2	91.1	1180.1	98.341667	1180.1	2001	78.9	37	122	60	154.2	109.1	60.5	61.3	101	118.2	168.4	35.1	1106.7	92.225	1106.7	
2002	26.2	14.2	88.4	177.8	105.4	86.6	38.9	37.4	60.8	112.4	67.8	8.4	826.3	68.868333	826.3	2002	21.7	52.1	106.7	162.7	188.9	153.7	125.1	70	44	61	71.7	29.6	1087.2	90.6	1087.2	
2003	23	209.9	272	106.7	52.5	92.4	108.9	63.7	146.4	152	208.5	107.8	1543.8	128.65	1543.8	2003	97.5	174.6	117.9	191.5	68.4	150.9	32.1	97.7	59.9	194.6	144.4	123.5	527	1455.9	121.325	1455.9
2004	58.9	42.4	73.2	110	40.3	90	53.1	85.9	120.6	160.4	95.2	1037.9	86.491667	1037.9	2004	86.6	60.8	151.3	65.4	150.9	32.1	97.7	59.9	194.6	144.4	123.5	527	1455.9	121.325	1455.9		
2005	104.5	271.6	61.7	110	40.3	90	53.1	85.9	120.6	160.4	95.2	1037.9	86.491667	1037.9	2005	94.9	389.4	107.3	116.4	188.1	60.7	53.1	97.7	59.9	194.6	144.4	123.5	527	1455.9	121.325	1455.9	
2006	85.8	58	115.6	109.9	114.9	140.5	45.8	105.2	46.3	284.7	41.1	22.4	1159.4	96.616667	1159.4	2006	83.4	90.9	197.2	123.1	139.1	193.9	70	84.2	76.7	153.1	94.7	6	1290.7	107.583333	1290.7	
2007	66.1	63.4	145.3	83	162	43.7	46.3	108.5	85.5	142.7	56.1	28	1030.6	85.883333	1030.6	2007	70.3	79.2	240.9	83.9	143.8	93.2	54.6	112.4	95	121.1	68.4	32.8	1196.2	99.683333	1196.2	
2008	52.7	300	300.7	50.6	204.3	36.3	81	87.3	88.4	81.7	211.5	18.1	1512.6	126.05	1512.6	2008	68.1	186.6	205.9	161.1	164.1	37.4	53.1	93.5	107.5	162.4	162.2	20.8	1426.8	118.9	1426.8	
2009	61.1	96.6	151.6	187.5	131.8	146.7	52.5	117	30.6	241.7	161.5	80.1	1458.7	121.583333	1458.7	2009	128.8	89.4	149.2	114.6	55	98.9	86.4	152.6	22.9	208.8	138.5	17.4	1262.5	105.208333	1262.5	
2010	3.2	39.7	33.8	51.3	198.7	120	118.2	129.9	195.4	151.3	235.1	305.9	1572.5	131.041667	1572.5	2010	17.2	58.7	49.5	79.5	293.3	127	112	149.7	252.1	197.4	198.2	169.1	1703.7	141.975	1703.7	
2011	28.3	65.5	70	170.7	177.7	91.2	67.6	136.1	93.7	389.1	69.7	113.1	1513.7	126.141667	1513.7	2011	1.5	67	135.7	158.8	240.3	159.9	102.4	163.3	81.8	346.4	113.5	77.5	1647.7	137.308333	1647.7	
2012	62.9	10.9	99.3	168.3	35.7	142.8	103	87.5	35.4	269.8	165.6	139.6	1320.8	110.06667	1320.8	2012	199.3	60.1	58.4	161.9	72.1	164.5	56.5	102.4	64	107.9	136.6	11.6	1088.3	90.691667	1088.3	
2013	63.6	195.3	184.3	32.5	208.8	37.7	38.1	179.2	61.5	114.6	118.8	29.1	1263.5	105.291667	1263.5	2013	41.9	186.3	63.8	129	180.2	72.2	54.8	154.1	64	107.9	136.6	11.6	1088.3	90.691667	1088.3	
2014	33.7	148.4	41	71.8	88.7	60.3	88	97.6	81.4	224.6	121.8	40.5	1097.8	91.483333	1097.8	2014	47.1	100.5	180	116	47.1	145.4	83.8	110.6	68	332.6	136.3	18.3	1365.7	113.808333	1365.7	
PROM MENSUAL	68.36	119.59333	118.11	105.7467	126.6	86.6	70.465	95.11	92.78	189.5	139.3	81.87	107.41	107.41		PROM MENSUAL	74.86	121.3	131.2	110.2	150.1	152.1	83.06	103.3	105.6	154.6	129.8	48.42	1111.49	111.49		

Figura 4: Estaciones agrupadas.

- En la Figura 5 se observar la estación (T) LA LAGUNA donde fue necesario el llenado de los datos la cual se encuentran resanadas las casillas en rojo son los datos faltantes que se determinaran de acuerdo al método de correlación.

(T) ESTACION 23190260 LA LAGUNA															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	PROM	ANUAL CORREG
2000								38	161	102	138	24		92,6	1288,60
2001	42	25	94	88	101	64	87	13	35	272	227	40	1088	90,666667	1088,00
2002	9	19	86	104	105	90	28	39	42	99	51	39	711	59,25	711,00
2003	26	130	234	90	66	128	54	21	93	180	187	47	1256	104,66667	1256,00
2004	41	73	78	76	158	40	43	54	72	186	84	66	971	80,916667	971,00
2005	142	283	53	258	145	96	69	43	83	187	211	20	1590	132,5	1590,00
2006	76	56,1	83,7	60,6	176,9	68,8	59,9	75,3	83,5	285,7	94	26,9	1147,4	95,616667	1147,40
2007	52,3	49,7	55,7	81,4	86,9		40,4	138,6	141	96	79	24,6	916,51911	76,376593	916,52
2008	47,9	204,2	197,5	48,1	180,7	55,4	105,1	96,5	68,6	120,7	125,5	6,2	1256,4	104,7	1256,40
2009	46,7	67,7	128	120,7	67,3	155,9	65,6	44,6	13,4	180,9	66	5,5	962,3	80,191667	962,30
2010	0	34,7	28,4	46,3	220,8	75,3	149	150,4	136,4	142,7	160,1	119,4	1263,5	105,29167	1263,50
2011	65,9	50,2	62,2	154	273,8	103,7	87,5	92,4	70,8	289,9	141	62,6	1454	121,16667	1454,00
2012	101,7	17	129,5	200,8	24,7	17	6,3	63,6	90	177	18	117,7	963,3	80,275	963,30
2013	34,5	111,5	70,9	26	135,3	34,9	54,5	140,6	26,9	94,6	129,8	8,5	868	72,333333	868,00
2014	31,3	33,3	73,2	31,4	53,6	31,6	50,8	102,1					982,09445	81,841204	982,09
<b>PROM MENSUAL</b>	51,16	82,46	98,15	98,95	128,2	73,68	64,29	74,14	81,31	181	123,6	42,39	91,61	91,89	

Figura 5: Estación con datos ordenados

- En la Figura 6 pretendiendo hallar el valor del junio del 2007, se agrupan valores de cada estación. De acuerdo con el mes; además se omite el año donde está el valor faltante; se realiza los valores acumulados de cada estación.

Año	Valor anual Precipitación				Valor Acumulado Precipitación			
	Datos Estacion a Completar T	Datos estaciones S	Datos estaciones U	Datos estaciones V	Datos Estacion a Completar T	Datos estaciones S	Datos estaciones U	Datos estaciones V
2000	93	87	126	147	92,6	87,1	125,6	147,4
2001	64	106	92	109	156,6	192,6	217,8	256,5
2002	90	133	89	154	246,6	325,8	306,4	410,2
2003	128	202	92	133	374,6	527,8	398,8	543,4
2004	40	31	40	32	414,6	559,1	439,1	575,5
2005	96	46	41	61	510,6	604,6	479,8	636,2
2006	69	71	141	194	579,4	675,9	620,3	830,1
2008	55	73	36	37	634,8	748,9	656,6	867,5
2009	156	88	147	99	790,7	836,4	803,3	966,4
2010	75	187	120	127	866	1023	923,3	1093,4
2011	104	138	91	160	969,7	1160,6	1014,5	1252,9
2012	17	150	143	165	986,7	1310,6	1157,3	1417,4
2013	35	46	38	72	1021,6	1356,2	1195	1489,6
2014	32	77	60	145	1053,2	1433,5	1255,3	1635

Figura 6: datos de estaciones D, A, B, C, respecto al mes a evaluar.

- En la Figura 7 se observa la obtención del coeficiente de correlación que existe entre la estación con datos faltantes (para este caso, D) con las estaciones que conforman su grupo de análisis. Al trazar la línea de tendencia de cada serie, es posible obtener el cuadrado del valor del coeficiente de



correlación ( $R^2$ ). Cuanto más cercano sea este valor a 1, existirá una mejor correlación entre las estaciones de la serie, obteniéndose valores más confiables.

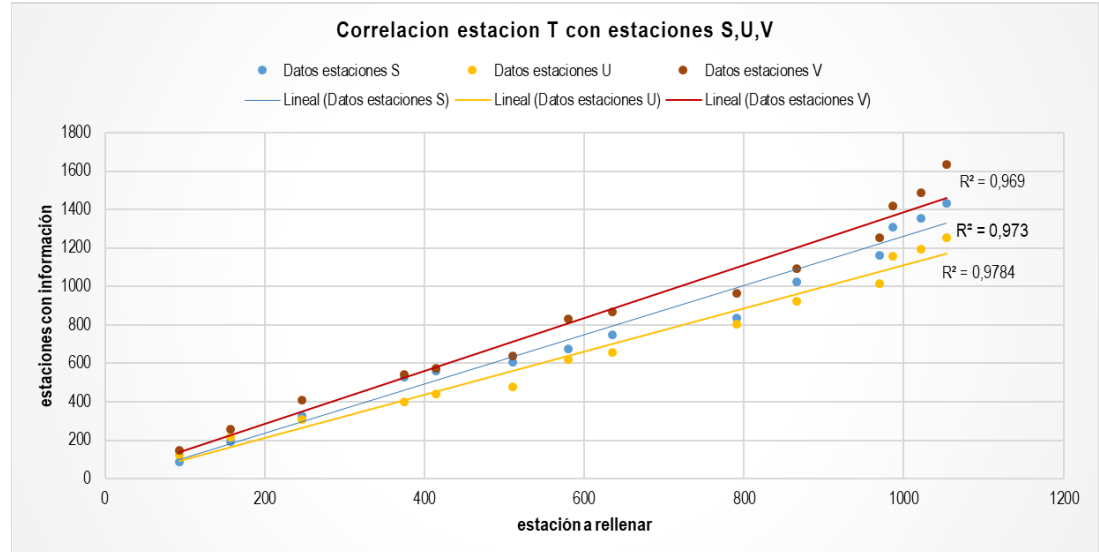


Figura 7: Correlación estación D con estación A, B, C.

- La Figura 8 presenta la correlación de la estación D entre las estaciones agrupadas; Siendo el  $R^2$  coeficiente de correlación, el valor de correlación es la multiplicación de  $R^2$  con los datos (mes- año); la fila de cálculo es la sumatoria  $R^2$  y valor correlacionado; y el dato faltante se resuelve dividiendo la sumatoria de valor correlacionado y  $R^2$  respectivamente. [19]

Correlacion estacion T con estaciones S,U,V			
Estación	coeficiente de correlación <sup>®</sup>	DATO JUN 2007	Valor correlacionado
Datos estaciones S	0,973	76,1	74,0453
Datos estaciones U	0,9784	43,7	42,75608
Datos estaciones V	0,969	93,2	90,3108
Calculo	2,9204	70,9	207,11218

Figura 8: correlación estación D con las estaciones agrupadas.

Los dato ordenados y calculados por el método de correlación se presentan mediante un ejemplo en la Figura 9.

(T) ESTACION 23190260 LA LAGUNA															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	PROM	ANUAL CORREG
2000								38	161	102	138	24	1288,60	92,6	1288,60
2001	42	25	94	88	101	64	87	13	35	272	227	40	1088	90,666667	1088,00
2002	9	19	86	104	105	90	28	39	42	99	51	39	711	59,25	711,00
2003	26	130	234	90	66	128	54	21	93	180	187	47	1256	104,666667	1256,00
2004	41	73	78	76	158	40	43	54	72	186	84	66	971	80,916667	971,00
2005	142	283	53	258	145	96	69	43	83	187	211	20	1590	132,5	1590,00
2006	76	56,1	83,7	60,6	176,9	68,8	59,9	75,3	83,5	285,7	94	26,9	1147,4	95,616667	1147,40
2007	52,3	49,7	55,7	81,4	86,3	70,92	40,4	138,6	141	96	79	24,6	916,51911	76,376593	916,52
2008	47,9	204,2	197,5	48,1	180,7	55,4	105,1	96,5	68,6	120,7	125,5	6,2	1256,4	104,7	1256,40
2009	46,7	67,7	128	120,7	67,3	155,9	65,6	44,6	13,4	180,9	66	5,5	962,3	80,191667	962,30
2010	0	34,7	28,4	46,3	220,8	75,3	149	150,4	136,4	142,7	160,1	119,4	1263,5	105,291667	1263,50
2011	65,9	50,2	62,2	154	273,8	103,7	87,5	92,4	70,8	289,9	141	62,6	1454	121,166667	1454,00
2012	101,7	17	129,5	200,8	24,7	17	6,3	63,6	90	177	18	117,7	963,3	80,275	963,30
2013	34,5	111,5	70,9	26	135,3	34,9	54,5	140,6	26,9	94,6	129,8	8,5	868	72,333333	868,00
2014	31,3	33,3	73,2	31,4	53,6	31,6	50,8	102,1	103	301,3	142,1	28,46	982,09445	81,84120	982,09
<b>PROM MENSUAL</b>	51,16	82,46	98,15	98,95	128,2	73,68	64,29	74,14	81,31	181	123,6	42,39	91,61	91,89	

Figura 9: Estación con datos ordenados






	Los datos de las estaciones.
	Datos hallados de acuerdo con el método de correlación.
	Promedio mensual [=PROMEDION (Numero 1; Numero 2; ...)]
	La sumatoria anual. (SUMA ((Numero 1; Numero 2; ...)))
	Promedio anual. [=PROMEDIO (Numero 1; Numero 2; ...)]

Tabla 2: Convenciones.

La metodología presentada anteriormente puede aplicar a datos faltantes de precipitación, temperatura, evapotranspiración, brillo solar y humedad.

### 7.3 Conceptos relacionados a la Precipitación.

#### 7.3.1 Precipitación total mensual.

Es el promedio multianual (en los 15 años de estudio) de la precipitación total anual, es medida en milímetros (Figura 4: Estaciones agrupadas.)

#### 7.3.2 precipitación media mensual.

Equivale a la doceava parte de la precipitación total anual y hace referencia a un valor promedio de precipitación total en el mes. En el cálculo de la precipitación media mensual se asume la hipótesis que todos los meses llueve la misma cantidad de agua.

#### 7.3.3 Precipitación total anual.

La precipitación total anual es la suma de la precipitación total diaria en un año y

hace referencia a la lámina de agua de precipitación acumulada durante el transcurso de un año.

#### 7.3.4 Precipitación Máxima en 24 Horas.

Es útil para comprender los posibles procesos erosivos y la generación de caudales máximos en el área de estudio. La precipitación máxima en 24 horas, como su nombre lo dice, es la cantidad de lluvia que cae en un solo día para las estaciones disponibles.

#### 7.4 Evapotranspiración potencial (ETP).

La evapotranspiración (ETP) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración de las plantas [18]

La evapotranspiración potencial, ETP, es un importante elemento del balance hídrico, por cuanto determina las pérdidas de agua desde una superficie de suelo en las condiciones que se han definido. La cuantificación de las pérdidas es indispensable para el cálculo del agua disponible en el suelo para ser utilizada por las plantas para su crecimiento y producción. Es la cantidad máxima teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua. En relación con las precipitaciones recogidas la ETP se toma como indicador climático de humedad o aridez ambiental, este parámetro se calcula mediante el método de Thornthwaite como sigue:

- Determinar el índice de calor mensual a partir de la temperatura media mensual ( $i$ ):

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ecuación 1.}$$

- Determinar el índice de calor Anual ( $I$ ) sumando los 12 valores de  $i$ :

$$I = \sum i \quad \text{Ecuación 2}$$

- Determinar la evapotranspiración mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP(\text{Sin Corregir}) = 16 * \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

ETP (Sin Corregir): Evapotranspiración potencial a nivel mensual en mm /mes, para meses de 30 días y 12 horas de sol teóricas.

t: Temperatura Media Mensual °C.

I: Índice de Calor Anual.

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

- Realizar la corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol.

$$ETP = ETP_{Sin\ Correg} * \frac{N}{12} * \frac{d}{30} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración Corregida.

N: Número máximo de horas de sol, depende del mes y de la Latitud.

d: Número de días del mes. [21]

### 7.5 Evapotranspiración Real (ETR).

En la ETR además de las condiciones atmosféricas interviene la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de la cobertura vegetal. Para referirse a la cantidad de agua que efectivamente es utilizada por la evapotranspiración, se debe utilizar el concepto de evapotranspiración actual o efectiva, o el de evapotranspiración real. Este parámetro se calcula según lo expuesto por Budyko como se muestra a continuación:

$$ETR = [(ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right)) * (1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right))]^{0.5} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real en mm/año

P = Precipitación en mm/año

ETP = Evapotranspiración Potencia en mm/año

### 7.6 Balance hídrico:

Permite caracterizar las diferentes condiciones del recurso hídrico dentro de un ecosistema o cuenca, mediante la comprensión de almacenamientos, flujos y balances que están dentro del ciclo hidrológico, a partir de los cuales se determina el régimen hidrológico para estimar y cuantificar la oferta hídrica. [5]

$$P - Esc (total) - ETR \pm \Delta S \pm \Delta er = 0 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P: precipitación (mm)

Esc: escorrentía total (mm)(flujo superficial + flujo subterráneo)

ETR: evapotranspiración real (mm)(evaporación + transpiración)

$\Delta S$ : almacenamiento  
 $\Delta er$ : término residual de discrepancia

Sin embargo, cuando las unidades hidrográficas de análisis corresponden con áreas hidrográficas reguladas o muy intervenidas para el uso y aprovechamiento por parte de los diferentes sectores usuarios, la ecuación es:

$$P - ETR - Ex + Rt \pm Tr \pm \Delta S \pm \Delta er = Esc \text{ (medida)} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

P: precipitación (mm)

Esc: escorrentía total (mm)(flujo superficial + flujo subterráneo)

ETR: evapotranspiración real (mm)(evaporación + transpiración)

$\Delta S$ : almacenamiento

$\Delta er$ : término residual de discrepancia

En la Figura 10 se presenta un bosquejo del balance entre ETP Y ETR. es el déficit donde P está por encima de ETR corresponde a almacén en Reserva más excedentes donde ETR está por encima de P Corresponde al uso de la reserva del suelo o déficit.

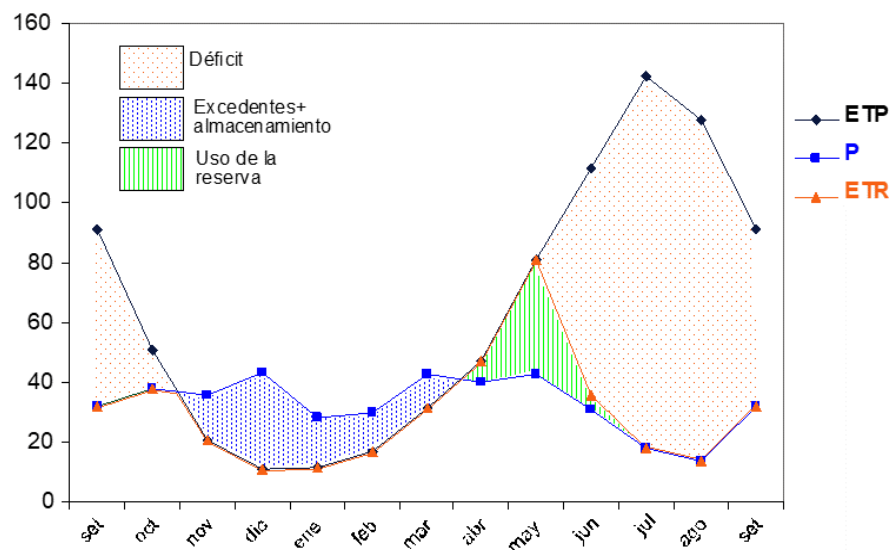


Figura 10 Bosquejo del balance hídrico [18].

## 7.7 Hidrología.

### 7.7.1 Oferta Hídrica Total

Tomando la definición del IDEAM (2014), la oferta hídrica total superficial es el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje

superficial. Es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos.

Se determina con la variable escorrentía, que se calcula a partir de la serie histórica de caudales medidos seleccionando estaciones hidrológicas representativas de cuencas con régimen poco intervenido o a partir de modelos de lluvia escorrentía donde no hay estaciones hidrológicas o estas son poco representativas. El balance hídrico permite verificar los estimativos de escorrentía y evaluar los componentes de precipitación y de evapotranspiración del ciclo hidrológico.

El cálculo del valor aproximado de caudal medio anual para cada una de las subcuencas se hace usando la siguiente expresión, considerando que la oferta hídrica es el indicador del caudal medio de una cuenca [21]:

$$Q_c = 3.17 * 10^{-8} * A_c * (P - ETR) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

**A<sub>c</sub>**: Área de la cuenca (m<sup>2</sup>).

**P**: Precipitación media anual de la cuenca (m).

**ETR**: Evapotranspiración real media anual de la cuenca (m).

**Q<sub>c</sub>**: Caudal medio anual (m<sup>3</sup>/s).

La oferta hídrica total se calcula de acuerdo con la Ecuación 8 pero además en algunos casos se tiene que sumar la oferta hídrica total de cuencas aledañas.

### 7.7.2 Caudal Ambiental.

El caudal ambiental se estima a partir de las características del régimen hidrológico representadas en la curva de frecuencias de caudales diarios (curva de duración de caudales), la cual sintetiza las características del régimen en un punto específico de la unidad hídrica de análisis. No existe un método ideal para determinar el caudal ambiental apropiado para cada caso específico, pero sí existen una serie de métodos para determinar el caudal ambiental de acuerdo con criterios y objetivos.

- Porcentaje de descuento: este representa el 25% del caudal mensual multianual más bajo de la corriente de estudio (IDEAM, 2010).
- Reducción por caudal ambiental: esta aproximación corresponde al 25% del caudal medio multianual.

### 7.7.3 Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD):

Es la oferta hídrica disponible (OHTD) más los volúmenes de agua de caudales de retorno asociados a diferentes usos. Incluye la suma o resta de caudales de trasvase que ingresen a la cuenca o salgan de ella. Esta es la oferta que se utiliza

para el cálculo del Índice de Uso de Agua (IUA). Los caudales medidos en estaciones localizadas en cuencas intervenidas representan este caudal disponible regional ( $Q_{dr}$ ) que en términos generales corresponde a la expresión de la siguiente ecuación. [5]

$$Q_{dr} = Q_t - Q_{amb} + Q_r \pm Q_{tr} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

**$Q_t$** : Caudal Total superficial

**$Q_{amb}$** : Caudal Ambiental

**$Q_r$** : Caudal de retorno

**$Q_{tr}$** : Caudal de trasvase

#### 7.7.4 Oferta Hídrica Regional Aprovechable (OHRA):

Volumen de agua que resulta de sustraer del volumen promedio medido en la estación hidrométrica de referencia, representativa de la unidad de análisis considerada, el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental [5], en términos de caudales, esta oferta se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_{hra} = Q_{est} - Q_{amb} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

**$Q_{hra}$** : Caudal hídrico regional aprovechable

**$Q_{est}$** : Caudal medio en la estación

**$Q_{amb}$** : Caudal Ambiental

#### 7.8 Demanda hídrica (Dh).

La demanda hídrica superficial se estima para las actividades socioeconómicas predominantes en las cuencas que requieren del recurso hídrico para su desarrollo. Los diferentes tipos de demanda contemplados en el análisis corresponden a los principales usos identificados, mapa de cobertura de uso del suelo, y listado de concesiones suministrado por las entidades ambientales.

En las actividades humanas el uso del agua es intenso, tanto para cubrir las necesidades básicas de tipo biológico y cultural, como para el desarrollo económico de la sociedad. Por ello, en la cuantificación de la demanda se integran todas las actividades que requieren el recurso hídrico, mostrándose su comportamiento y distribución en el tiempo para planificar su uso sostenible.

Se define como el agua extraída consumida más el agua extraída no consumida, basado en la información de consumos suministrada por la Autoridad ambiental y reportada en el estudio POMCA Rio Lebrija, y la información de la clasificación de la demanda reporta por el IDEAM en estudio de aguas de 2014 [22].

Se obtienen los valores de la demanda hídrica total para la cuenca del Rio Alto Lebrija. La demanda se calcula para todas las actividades en  $m^3$ / año, teniendo en cuenta su concentración y el tamaño de los usuarios en cada unidad de análisis identificada y contextualizada. Se expresa según la siguiente ecuación. [5]

$$Dh = DT = DUD + DUA + DUAV + DUP + DUI \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

**DT:** demanda hídrica

**DUD:** consumo humano o doméstico

**DUA:** consumo del sector agrícola

**DUP:** consumo del sector pecuario

**DUI:** consumo del sector industrial

**DUAV:** Demanda de agua por uso avícola.

### 7.8.1 Consumo humano o doméstico (DUD):

El cálculo de la demanda se establece a partir de la estimación del consumo humano requerido para satisfacer las necesidades fundamentales de un habitante al día, teniendo en cuenta un umbral mínimo de consumo con el fin de mantener un nivel de bienestar. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$Ch = P * I + p \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

**Ch:** consumo humano  $\left(\frac{m^3}{año}\right)$

**P:** población (número)

**I:** intensidad del consumo (adimensional)

**Pt:** pérdidas técnicas  $\left(\frac{m^3}{año}\right)$ .

### 7.8.2 Consumo en sector agrícola (DUA):

Se refiere a la cantidad de agua que se requiere aportar de manera artificial para suplir las necesidades de riego de un cultivo. Se determina por la Evapotranspiración del cultivo (ETc) menos el agua que han aportado las precipitaciones. Cuando la precipitación efectiva es mayor que las necesidades de riego, la demanda o riego bruto es igual a cero (0). En caso contrario, cuando la precipitación efectiva es menor al uso consuntivo del cultivo, la demanda se define



por la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el agua que se aporta por precipitación. [5]

### 7.8.3 Consumo pecuario (DUP):

Es la cantidad de agua que se utiliza en la cría, levante, engorde, beneficio y sacrificio asociado con la producción de carne sea esta proveniente de bovinos, porcinos, caprino y aves, producción de huevos, leche y lana y otros animales como caballos, conejos, y de animales en cautiverio para la producción de pieles. [5]  
La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$C_{sp} = C_v + C_s + C_{ua} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

**C<sub>sp</sub>**: consumo sector pecuario  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right)$

**C<sub>v</sub>**: consumo vital en cada fase del proceso

productivo por especie  $\left(\frac{\frac{\text{m}^3}{\text{cab}}}{\text{edad}}\right) * \text{N}^\circ \text{ animales}$

**C<sub>s</sub>**: consumo en sacrificio  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right)$

**C<sub>ua</sub>**: consumo en lugares de manejo y alojamiento animal  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right)$

### 7.8.4 Consumo industrial (DUI):

El Decreto 3930 de 2010 [10] considera dentro de los procesos manufactureros aquellos relacionados con la generación de energía, minería, hidrocarburos, fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares, elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución. La manera de cálculo se expresa en la siguiente ecuación:

$$C_{si} = G_i + P_i + C + K \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

**C<sub>si</sub>**: Consumo del sector manufacturero  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right)$

**G<sub>i</sub>**: Consumo de los diferentes sectores presentes en el área de estudio  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right)$

**C**: Construcción  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right)$

**K**: Ajuste por cobertura

### 7.9 Índice de aridez.

Es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial.

Según el IDEAM (2014) el Índice de Aridez es una relación entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, lo cual indica qué tanta capacidad tiene el ecosistema para mantenerse, según la cantidad de precipitación en un periodo de tiempo. Este es un indicador importante pues permite establecer posibles zonas de desertificación.

$$Ia = \frac{ETP - ETR}{ETP} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

**ETP:** Evapotranspiración potencial.

**ETR:** Evapotranspiración real.

**Ia:** Índice de Aridez.

La resolución del índice está en función de la densidad de la red de estaciones hidrometeorológicas. Con este índice se genera el mapa que permite analizar y caracterizar el área hidrográfica deficitaria o con excedente de agua a nivel unidades hídricas de análisis, con definición temporal media mensual multianual. [21]. La tabla 3 presenta las características asociadas al índice de aridez.

Rango	Categoría	Características
Menor de 0.15		Altos excedentes de agua
0.15 a 0.19		Excedentes de agua
0.20 a 0.29		Entre moderado y excedentes de agua
0.30 a 0.39		Moderado
0.40 a 0.49		Entre moderado y deficitario de agua
0.50 a 0.59		Deficitario de agua
Mayor de 0.60		Altamente deficitario de agua

Tabla 3: Categorías índices de Aridez. [21]

### 7.10 Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

Este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que

se interpretan como de menor regulación. [22] El cálculo del indicador se realiza empleando la siguiente ecuación:

$$IRH = \frac{V_p}{V_t} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

**IRH:** índice de retención y regulación hídrica

**V<sub>p</sub>:** volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales diarios

**V<sub>t</sub>:** volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

Es un indicador dimensional que varía entre 0 y 1. Los valores se agrupan para tener una descripción cualitativa desde muy alta capacidad de retención y regulación de humedad hasta muy baja. Los valores obtenidos se agrupan en rangos para facilitar la comparación entre unidades hídricas de análisis. A cada rango se le asigna una calificación cuantitativa. Las cinco categorías propuestas se muestran en la Tabla 4.

Rango de valores IRH	Categoría	Características
> 0.85	Muy alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta
0.75 -0.85	Alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular alta
0.65 – 0.75	Medio	Capacidad de la cuenca para retener y regular media
0.50 – 0.65	Bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular baja
< 0.50	Muy bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja.

Tabla 4 Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH) [5]

### 7.11 Índice de uso del agua (IUA).

Cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis, en relación con la oferta hídrica regional disponible (OHRD) neta para las mismas unidades de tiempo y espaciales. [5]

Relación porcentual de la demanda de agua en relación con la oferta hídrica regional disponible.

$$IUA = \left( \frac{Dh}{OHRD} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

**IUA:** índice de uso del agua

**Dh:** demanda hídrica.

**OHRD:** oferta hídrica superficial regional disponible.

La categorización de condición de presión de la demanda sobre la oferta hídrica se define a partir de los mismos cinco rangos y categorías utilizados en el ENA, 2010: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

Rango (Dh/Oh) *100 IUA	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1-10.	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Tabla 5 Rangos y categorías del índice de uso del agua (IUA) [5]

### 7.12 Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVDH)

Grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua que, ante amenazas –como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) - podría generar riesgos de desabastecimiento. [5]

El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA) (ver Tabla 6).

<b>Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)</b>		
<b>Índice de uso de agua</b>	<b>Índice de regulación</b>	<b>Categoría Vulnerabilidad</b>
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Tabla 6 Categorías del Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento [5]

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Se realizó una extracción de la información hidroclimatológica disponible en los planes de ordenamiento y manejo de cuencas del área de jurisdicción de la CDMB, evaluando su consistencia, cálculos y análisis en cada uno de los parámetros hidroclimatológicos (precipitación, humedad, temperatura vientos, brillo solar).
- Con los datos crudos y las series completas de datos se generaron indicadores que fueron comparados con los resultados entregados en el POMCA encontrándose discrepancia en algunos de ellos, siendo comunicados el responsable del estudio para su respectivo ajuste.
- Los indicadores identificados y calculados para el ERA fueron: índice de aridez, índice de retención y regulación hídrica, índice de uso del agua, índice de vulnerabilidad por el desabastecimiento hídrico y así evidenciado unas características de las condiciones del agua superficial en la cuenca estudiada.
- Se construyó el documento del ERA registrando los procesos realizados y resultados calculados y generados la cual se define como un documento piloto.
- Con la comparación realizada entre índices de retención y regulación hídrica con caudales generados por métodos matemáticos, índices de retención y regulación hídrica con caudales registrados en las estaciones hidrológicas ubicadas en la cuenca río Alto Lebrija; encontré que, en los resultados arrojados, hubo similitudes en los rangos de valoración obteniendo una caracterización más detallada de la cuenca.
- El ERA con el que se realiza la evaluación de indicadores de agua subterránea no se realizó, atendiendo a que no se registra información; sin embargo, es necesario realizar esta evaluación siendo estas aguas importantes para el sostenimiento de corrientes, lagos, y humedales y otros ecosistemas asociados.
- Dado a que una de las dificultades al desarrollar el estudio es la falta de datos se recomienda la inversión estaciones hidrológicas y desarrollar más en investigación de aguas subterráneas ya que no se encontró información.

## 7. Bibliografía

- [1] Alcaldía mayor de Bogotá D.c, «ambientebogota.gov.co,» Secretaria Distrital de Ambiente, [En línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/pomca>.
- [2] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia, *DECRETO LEY 2811 DEL 1974*, 1974.
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia, *decreto 1729 de 2.002*, 2002.
- [4] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, *Decreto 1640 2012*, 2012.
- [5] IDEAM, Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA, Bogotá, D.C: Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, 2013.
- [6] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA, Meteorología y Climatología Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004, G. Diseña, Ed., FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), 2004.
- [7] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN, «MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE HIDRÁULICA,» MEDELLÍN.
- [8] PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO AMBIENTAL, «<http://www.cdmb.gov.co>,» 17 octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/1183-pomca-subcuenca-lebrija-alto>. [Último acceso: 16 marzo 2018].
- [9] Empresa de agua, alcantarillado y aseo de Bogotá, «METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (ERA),» Bogotá, 2014.
- [10] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, *Decreto 3930 de 2010*, 2010.
- [11] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio., Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D , Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias, vol. 2, C. d. I. e. A. y. A. –CIACUA, Ed., Bogotá, D.C. : Universidad de los Andes, 2012.
- [12] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, *LEY 99 DE 1993*, 1993.
- [13] Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga., «Estructura CDMB,» [En línea]. Available: <http://www.cdmb.gov.co/web/estructura>. [Último acceso: 6 Febrero 2018].
- [14] Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga., «Funciones CDMB,» [En línea]. Available: <http://www.cdmb.gov.co/web/funciones>. [Último acceso: 6 Febrero 2018].
- [15] Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga., «Misión y Visión,» 4 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.cdmb.gov.co/web/mision-y-vision-1>. [Último acceso: 6 Febrero

2018].

- [16] Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga., «Naturaleza Jurídica CDMB,» [En línea]. Available: <http://www.cdmb.gov.co/web/naturaleza-juridica>. [Último acceso: 6 febrero 2018].
- [17] CDMB, «CONSEJO DE CUENCAS: CDMB,» 14 Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://www.cdmb.gov.co/web/consejo-de-cuenca-pomcas>. [Último acceso: 15 Marzo 2018].
- [18] Unión Temporal POMCA Río Lebrija Alto 2015., «3.1 CLIMA,» Bucaramanga, 2015.
- [19] Organización Meteorología Mundial , Volumen II Guia de prácticas hidrológicas Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas, OMM-168, 2011.
- [20] IDEAM, SUBDIRECCION DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES DIVISION DE HIDROMETEOROLOGIA SECCION DE METEOROLOGIA, TECNICAS ESTADISTICAS APLICADAS EN EL MANEJO DE DATOS HIDROLOGICOS Y METEOROLOGICOS, BOGOTA, 1990.
- [21] IDEAM, «IDEAM, Lineamientos conceptuales y metodológicos,» Bogota, Impreso en Colombia, 2013, p. 276.
- [22] IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014., Bogotá, D. C., 2015, p. 496 páginas..