

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S
COMO APOYO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES
CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO EN LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL PLAN DE
ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL
RÍO TAPIAS.

DAVID ALEXANDER RODRIGUEZ PARADA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S
COMO APOYO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES
CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO EN LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL PLAN DE
ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL
RÍO TAPIAS.

DAVID ALEXANDER RODRIGUEZ PARADA

Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Civil

Director UIS

WALTER LEONARD ANTOLÍNEZ QUIJANO

Ingeniero Civil, MSc.

Tutor ConstruSuelos de Colombia S.A.S

MIGUEL ÁNGEL CAMARGO JAIMES

Ingeniero Civil

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

2016

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por su Infinito amor y misericordia y por las bendiciones
que nos brinda cada día;
A mi madre, por su vida sacrificada en busca del bienestar de sus hijos, su amor y
apoyo incondicional;
A mi padre, por su apoyo en la realización de mis estudios;
A mi hermana Saray, por su apoyo, cariño y amor fraternal.

AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros Miguel Ángel Camargo y Miguel Silva por la oportunidad y confianza brindada para la realización de la práctica empresarial en ConstruSuelos de Colombia S.A.S. Resalto la colaboración de los Ingenieros José Alfredo Rueda, Adrián Rizo Ibáñez, Viviana Lucia Gómez por su apoyo en el proceso de aprendizaje durante la realización de la práctica y al Ingeniero Walter Leonard Antolinez Quijano director de proyecto por su disposición y colaboración en el proceso de la práctica como proyecto de grado.

CONTENIDO

	Pág.
ANEXOS	13
INTRODUCCIÓN.....	16
1. METODOLOGÍA.....	19
1.1 HIDROGRAFÍA.....	19
1.1.1 Ajuste delimitación hidrográfica cuenca	19
1.1.2 Delimitación y codificación de subcuenca.....	20
1.1.3 Densidad de drenaje para la cuenca	21
1.2 MORFOMETRÍA.....	21
1.2.1 Coeficiente de Compacidad de Gravelius (Kc)	22
1.2.2 Índice de alargamiento (Ia)	22
1.2.3 Índice de asimetría (Af).....	23
1.2.4 Curva Hipsométrica	24
1.2.5 Pendiente media del cauce (Pm).....	24
1.2.6 Pendiente media de la cuenca y las subcuencas (S).....	25
1.2.7 Tiempos de concentración (Tc)	25
1.3 CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN CLIMÁTICO.....	27
1.3.1 Análisis de series de tiempo	27
1.3.2 Análisis espacial de la información	32
1.3.3 Análisis de frecuencia.....	32
1.3.4 Curvas de intensidad-duración-frecuencia IDF	33

1.3.5	Zonificación Climática Caldas-Lang.....	35
1.3.6	Índice De Aridez	37
1.4	CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN DE CAUDALES.	40
1.4.1	Descripción y evaluación de la red hidrológica	40
1.4.2	Llenado de datos faltantes.....	41
1.4.3	Curva de duración de caudales (CDC)	42
1.4.4	Componentes y parámetros para la caracterización del régimen de caudales.....	42
1.4.5	Análisis de eventos extremos	43
1.4.6	Análisis de Independencia.....	43
1.4.7	Análisis de Aleatoriedad	44
1.4.8	Modelos probabilísticos	44
2.	RESULTADOS	46
2.1	COMPONENTE HIDROGRÁFICO	46
2.1.1	Ajuste delimitación Cuenca Hidrográfica	46
2.1.2	Delimitación y codificación de subcuencas	47
2.1.3	Densidad de drenaje de la cuenca	48
2.2	COMPONENTE MORFOMÉTRICO	49
2.3	CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN CLIMÁTICO.....	51
2.3.1	Régimen de Precipitaciones valores Normales.....	51
2.3.2	Régimen de Precipitaciones Valores Máximos	56
2.3.3	Curvas Intensidad –Duración-Frecuencia IDF	58
2.3.4	Temperatura Valores normales	61
2.3.5	Zonificación Climática Caldas-Lang.....	63
2.3.6	Distribución espacial índice de aridez.....	65
2.4	CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN HIDROLÓGICO	66
2.4.1	Curva duración de caudales	67

2.4.2	Caracterización Valores Normales y Extremos de caudales.....	68
2.4.3	Análisis de eventos extremos	72
3.	CONCLUSIONES.....	75
4.	RECOMENDACIONES.....	78
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	BIBLIOGRAFIA.....	84

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación y delimitación inicial Cuenca río Tapias	18
Figura 2. Estaciones Climatológicas activas en el área de estudio	28
Figura 3. Delimitación subcuencas	48
Figura 4. Curva Hipsométrica Cuenca del río Tapias	50
Figura 5. Porcentaje de datos faltantes.....	51
Figura 6. Precipitación media mensual multianual estación Dibulla nor-Oeste cercana al mar caribe	52
Figura 7. Precipitación media mensual multianual estación Lagunitas Sur- este ..	53
Figura 8. Precipitación Total anual estación Matitas norte	54
Figura 9. Precipitación Total anual estación Lagunitas sur-este	55
Figura 10. Especialización Precipitación media anual.....	56
Figura 11. Especialización periodo de retorno 50 años para precipitación máxima en 24 horas.....	58
Figura 12. Curvas IDF estación matitas Método (Vargas M.R. – Días-Granados O.M)	60
Figura 13. Curvas IDF estación matitas Método (Hargreaves).....	60
Figura 14. Temperatura media mensual multianual Matitas	61
Figura 15. Temperatura Media Anual	63
Figura 16. Clasificación Climática Caldas-Lang	64
Figura 17. Índice de Aridez Media Anual	66
Figura 18. Curva duración de caudales medios diarios.....	67
Figura 19. Caudal Medio Anual estación Pte Bomba	70

Figura 20. Caudales promedio mensual multianual Pte Bomba71
Figura 21. Serie histórica de caudales máximos diarios anuales72

LISTADO DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. <i>Resumen de categorización y clasificación de la densidad de drenaje.</i> ..	21
Tabla 2. <i>Clasificación según el índice de alargamiento.</i>	23
Tabla 3. <i>Clasificación para las pendientes media del cauce.</i>	24
Tabla 4. <i>Resumen de categorización y clasificación de la Pendiente Media de la Cuenca (%)</i>	25
Tabla 5. <i>Estaciones meteorológicas IDEAM en la zona de estudio.</i>	29
Tabla 6. <i>Parámetros regionalizados para la zona Caribe</i>	34
Tabla 7. <i>Clasificación climática de Caldas</i>	36
Tabla 8. <i>Clasificación climática de Lang</i>	37
Tabla 9. <i>Categorías de clasificación índice de aridez</i>	38
Tabla 10. <i>Estaciones Solicitadas al IDEAM, cuenca Río Tapias</i>	40
Tabla 11. <i>Parámetros morfométricos.</i>	49
Tabla 12. <i>Análisis de frecuencia precipitación máx. 24 horas periodos de retorno estación Matitas.</i>	56
Tabla 13. <i>Parámetros caracterización de caudales</i>	68
Tabla 14. <i>Número medio de días mensual con $Q > Q_{5\%}$ y $Q < Q_{95\%}$</i>	69
Tabla 15. <i>Resumen Prueba Independencia</i>	72
Tabla 16. <i>Resumen Prueba Aleatoriedad</i>	73
Tabla 17. <i>Análisis de frecuencia Periodos de retorno Caudales estación Pte Bomba</i>	73

ANEXOS

ANEXO A. Salida cartográfica ajuste delimitación, DEM (8X8m), shp.curvas de nivel y shp.cuenca.

ANEXO B. Salida cartográfica subcuencas codificadas y shp.subcuencas. shp.Drenajes sencillos.

ANEXO C. Salida cartográfica Densidad de drenaje.

ANEXO D. Parámetros Morfométricos por subcuenca y cálculos de curva hipsométrica.

ANEXO E. Llenado de datos Faltantes precipitación y temperatura.

ANEXO F. Análisis temporal y espacial variable precipitación.

ANEXO G. Análisis de frecuencia para las estaciones que miden la variable precipitación max 24 horas.

ANEXO H. Curvas IDF sintéticas para las estaciones con información de precipitación max 24 horas

ANEXO I. Análisis temporal y espacial variable Temperatura.

ANEXO J. Calculo ETP, EVR e Índice de Aridez, Salidas Cartográficas.

ANEXO K. Llenado de datos Faltantes Caudales Estación Pte Bomba.

ANEXO L. Curva Duración de Caudales Diaria, Mensual y Anual.

ANEXO M. Análisis información de caudales medios, máximo y mínimos.

ANEXO N. Análisis de Frecuencia Periodos de retorno Estación Pte Bomba, prueba de independencia y aleatoriedad.

ANEXO Ñ. Parámetros hidrográficos por subcuenca

ANEXO O. Parámetros morfométricos por subcuenca

ANEXO P. Pendiente media del cauce y tiempos de concentración

RESUMÉN

TÍTULO:

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S COMO APOYO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES CLIMÁTICO E HIDROLÓGICO EN LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TAPIAS*

AUTOR:

DAVID ALEXANDER RODRIGUEZ PARADA**

PALABRAS CLAVE:

POMCA, CUENCA HIDROGRÁFICA, HIDROGRAFÍA, MORFOMETRÍA, CLIMA, HIDROLOGÍA

DESCRIPCIÓN:

Los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCAS son instrumentos de planeación para la gobernanza del agua dentro del cual el componente fisicobiótico de la caracterización de la cuenca hidrográfica, para la fase de diagnóstico, es uno de los principales insumos para el análisis situacional de la cuenca. En el componente físico se contemplan las temáticas: clima, geología, hidrogeología, hidrografía, morfometría, hidrología entre otros.

En la práctica realizada en la empresa ConstruSuelos de Colombia S.A.S se trabajó en el apoyo a la realización de los informes técnicos de las temáticas de hidrografía, morfometría, clima e hidrología para la fase de diagnóstico del POMCA de la cuenca hidrográfica del río Tapias. Se utilizó como insumos un modelo digital de elevaciones, imágenes satelitales y cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC a escala 1:25000 para la caracterización hidrográfica y morfométrica e información secundaria de la red meteorológica del IDEAM disponible, para la caracterización climática, mediante un análisis del régimen de precipitaciones y para la hidrológica, a través de un análisis del régimen de caudales.

La cuenca del río Tapias se encuentra ubicada en el departamento de la Guajira bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma de la Guajira-CORPOGUAJIRA. La cuenca del río Tapias es una cuenca exorreica con una zona de alta montaña y una zona de planicie, con tiempos de concentración bajos, un caudal medio anual de $16.85 \frac{m^3}{s}$ y un régimen de precipitación bimodal.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: MSc. Walter Antolinez.

ABSTRACT

TÍTULO:

INTERNSHIP IN CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S AS SUPPORT FOR THE CHARACTERIZATION OF THE CLAMATIC AND HYDROLOGICAL COMPONENTS IN THE DIAGNOSTIC PHASE OF THE TAPIAS RIVER WATERSHED DESIGNATION AND MANAGEMENT PLAN - "PLAN DE ORDENACION Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS (POMCA)*"

AUTHOR:

DAVID ALEXANDER RODRIGUEZ PARADA**

KEYWORDS:

POMCAS, WATER BASIN, WATERSHED, HYDROGRAPHY, MORPHOMETRY, WEATHER, HYDROLOGY

DESCRIPCIÓN:

The Watershed Designation and Management Plans - Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, POMCAS are planning instruments for water governance within which the biotic physical components of the characterization of the watershed, for the diagnostic phase, it is one of the main inputs for the basin situational analysis. In the physical component is contemplated the thematics: weather, geology, hydrogeology, hydrography, morphometry, hydrology and others.

In the practice made in the company ConstruSuelos de Colombia S.A.S it was worked in supporting the implementation of technical reports of the thematics' hydrography, morphometry, weather and hydrology for POMCA diagnostic phase of the Tapias River watershed. It was used as inputs a digital elevation model, satellite images and cartography of The Agustin Codazzi Geographic Institute – IGAC a scale 1: 25000 for the characterization of hydrography and morphometry, and secondary information available of the IDEAM meteorological network, for the characterization of weather, through an analysis of the rainfall regime and for the hydrological, through an analysis of flow rates regime.

The Tapias River basin is located in La Guajira department under the jurisdiction of Autonomous Corporation of La Guajira-CORPOGUAJIRA. The Tapias River basin is an exoreic Watershed with a high mountain area and a plain area, with concentration times low, an average annual rate of $16.85 \frac{m^3}{s}$ and bimodal rainfall regime.

* Bachelor Thesis

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: MSc. Walter Antolinez.

INTRODUCCIÓN

El Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca, POMCA, es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente y debido al reciente cambio en el comportamiento climático que sufre el planeta se convierte en una herramienta para la prevención del riesgo y el análisis de cómo influyen estos cambios en el desarrollo sostenible de las cuencas.

El artículo 18 del decreto 1640 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define un plan de Ordenación y manejo como: “ *instrumento a través del cual se realiza la planeación del adecuado uso del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna; y el manejo de la cuenca, entendido como la ejecución de obras y tratamientos, con el propósito de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y el aprovechamiento económico de tales recursos, así como la conservación de la estructura físico -biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico*” [1].

Para la elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de las cuencas hidrográficas del país, es necesario que en coordinación con las diferentes instituciones que hacen parte del Sistema Nacional Ambiental-SINA, lideradas a nivel regional por las Corporaciones Autónomas Regionales, siguiendo lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible [2].

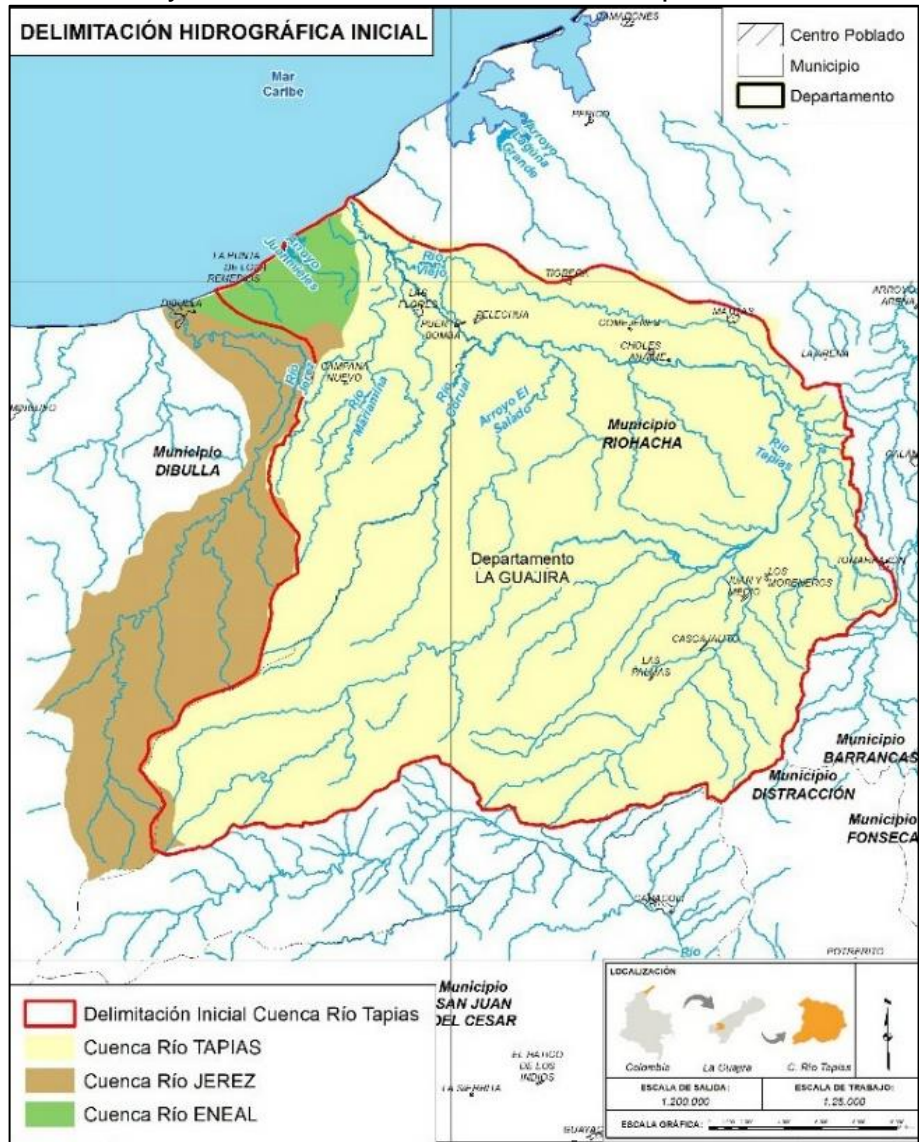
La formulación y/o actualización de un POMCA contempla seis fases: aprestamiento, diagnóstico, prospectiva y zonificación ambiental, formulación, ejecución y seguimiento, y evaluación [3].

En la práctica llevada a cabo en ConstruSuelos de Colombia S.A.S, empresa subcontratada por el consorcio Wajira se realizaron algunas de las temáticas del componente físico-biótico para la actualización del POMCA del río Tapias realizado entre 2009 y 2011 por convenio entre CORPOGUAJIRA y la Universidad del Magdalena [4].

Este proyecto de grado contribuyó a la realización de los informes técnicos para las temáticas de hidrografía, morfometría, clima e hidrología para el nuevo POMCA de la cuenca del río Tapias y con ello se aportó en: La revisión y ajuste de los límites hidrográficos de la cuenca y subcuencas, caracterización morfométrica de cuenca y subcuenca, análisis de variabilidad temporal y espacial del régimen de precipitaciones y caracterizar el régimen hidrológico a partir de un análisis de la variabilidad temporal del régimen de caudales, valores normales, así como los extremos. Fundamentales para el análisis situacional de la cuenca, en busca de identificar y evaluar amenazas, analizar vulnerabilidades y escenarios de riesgo.

La cuenca del río Tapias se encuentra ubicada en el departamento de la guajira, en la cara norte de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, en jurisdicción de los Municipios de Riohacha y Dibulla. (Ver Figura 1)

Figura 1. Ubicación y delimitación inicial Cuenca río Tapias



1. METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología y lineamientos seguidos en la realización de las actividades necesarias para el cumplimiento de los objetivos del plan, para los cuales se contó con insumos tales como la cartografía básica a escala 1:25000 IGAC, un modelo digital de elevaciones a partir de curvas de nivel cada 25 metros, información secundaria de la red meteorológica del IDEAM e imágenes satelitales de alta resolución.

1.1 HIDROGRAFÍA

La temática de Hidrografía consta de cuatro (4) ítems: el ajuste de la delimitación hidrográfica vigente y la identificación del Nivel I de unidades hidrográficas de la cuenca, la identificación de patrones de drenaje y el cálculo de la densidad de drenaje [5].

1.1.1 Ajuste delimitación hidrográfica cuenca

El proceso para la delimitación se basa en el análisis hidrológico del relieve de la cuenca (Modelo Digital de Elevaciones 8 m x 8 m de resolución), mediante la herramienta de ArcHydro del software ArcGIS. Este programa realiza la delimitación de subcuencas a un orden dado que aunque en zonas de baja pendiente presenta grandes limitaciones, en alta montaña brinda buenos resultados. Asimismo, para aminorar estas limitaciones fueron usadas imágenes

satelitales bandas 4, 5 y 7 de Landsat, imágenes de alta resolución tomadas de la base de datos de ESRI Imagery, los Software SASPlanet y de Google Earth.

El proceso en ArcHydro consiste en: un ajuste de elevaciones erradas, obtención del raster de direcciones de flujo, obtención del raster de flujo acumulado, obtención del raster de subcuencas.

1.1.2 Delimitación y codificación de subcuenca

Para la delimitación de las subcuencas se tomó como único criterio la jerarquización de la red de drenaje ya que la cuenca no presenta zonas con unidades geomorfológicas con potencial de torrencialidad que influyeran en el análisis de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales.

La jerarquización de la red de drenaje se llevó a cabo según Strahler (1952) [6] donde propuso el cálculo del Número de Orden para las corrientes en una cuenca de acuerdo con el primer paso de la metodología propuesta por Horton (1945) [7] donde en primer lugar, a aquellos cauces que no poseen tributario alguno se asigna un valor igual a la unidad (1) y posterior a la confluencia de dos drenajes de este mismo orden un número inmediatamente superior al asociado a las corrientes que confluyen en el mismo punto, sin indicar la cantidad de cauces que le tributan, pues de existir una afluente de menor orden en un punto cualquiera del recorrido natural del drenaje, el cauce continuará siendo el de mayor orden.

Luego de obtener la jerarquización se establecen las subcuencas con el número de orden anterior al mayor número de orden encontrado. El proceso de codificación se realizó siguiendo las recomendaciones del IDEAM descritas en [8].

1.1.3 Densidad de drenaje para la cuenca

Este es un parámetro revelador del régimen y de la morfología de la cuenca, porque relaciona la longitud de los cursos de agua con el área total. De esta manera, los valores altos reflejan un fuerte escurrimiento. La longitud total de los cauces dentro de una cuenca hidrográfica (L), dividida por la superficie total de la cuenca (A), define densidad de drenaje o longitud de cauces por unidad de área [9].

$$D = \frac{L[Km]}{A[Km^2]}$$

Tabla 1. Resumen de categorización y clasificación de la densidad de drenaje.

CATEGORÍA D (ESCALA 1:25.000)				
1	2	3	4	5
Menor a 1.2	1.21 - 1.8	1.81 – 2.0	2.01 – 2.5	Mayor a 2.5
Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: Estudio Regional del Agua, ERA 2013 [10].

1.2 MORFOMETRÍA

La morfometría es de importancia en el estudio de una cuenca hidrográfica, ya que ofrece un parámetro de comparación y/o interpretación de los fenómenos que ocurren en ésta, así dos cuencas con la misma área pero con formas diferentes

(pendientes, longitudes de cauces, densidad de drenajes) van a tener comportamientos diversos ante un mismo fenómeno de precipitación.

Para esta temática para se calcularon los parámetros iniciales: Área, Perímetro, Longitud axial, Ancho máximo de la cuenca, Longitud del cauce, apoyados en las delimitaciones obtenidas en la temática anterior y el software ArcGIS, a partir de estos se determina:

1.2.1 Coeficiente de Compacidad de Gravelius (Kc)

Es la relación entre el perímetro de la hoya y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la hoya. [9]

$$Kc = \frac{0.28 * P[Km]}{\sqrt{A[Km]}}$$

Dónde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius.

P: Perímetro de la cuenca o subcuenca en Km.

A: Área de la Cuenca o Subcuenca en Km².

1.2.2 Índice de alargamiento (Ia)

Este índice relaciona la longitud máxima o axial de la cuenca con su ancho máximo medido perpendicularmente a la dimensión anterior [11].

$$I_a = \frac{La}{a}$$

Dónde:

I_a: Índice de alargamiento.

La: Longitud axial.

a: Ancho máximo de la cuenca.

Tabla 2. Clasificación según el índice de alargamiento

Índice de Alargamiento <i>I_a</i>	Clases de cuenca y subcuenca	
$I_a < 1.4$	Poco alargada	PA
$1.5 < I_a < 2.8$	Moderadamente alargada	MOA
$2.9 < I_a < 4.2$ ó mayor	Muy alargada	MUA

Fuente: Estudio morfométrico de la cuenca del río azul, afluente del río Calima, departamento del Valle del Cauca [11].

1.2.3 Índice de asimetría (Af)

Este parámetro intenta cuantificar la ausencia o existencia de basculamiento a escala de la cuenca de drenaje, mediante una relación porcentual entre las áreas ocupadas por las dos márgenes del cauce principal. La relación adimensional es:

$$AF_D = \left(\frac{A_D}{A_T}\right) * 100 ; AF_i = \left(\frac{A_i}{A_T}\right) * 100$$

Donde “AFD” es el valor del índice (porcentaje) calculado para la margen derecha del cauce principal, “AD” es el área correspondiente a la margen derecha, y “AT” el área total de la cuenca de drenaje [12].

1.2.4 Curva Hipsométrica

Es la representación gráfica del relieve de una hoya. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la hoya con referencia al nivel medio del mar.

La curva hipsométrica relaciona el valor de la cota, en las ordenadas, con el porcentaje del área acumulada, en las abscisas. Para su construcción se grafican, con excepción de los valores máximos y mínimos de cota hallados, los valores menores de cota de cada intervalo de clase contra su correspondiente área acumulada. Al valor de la cota mayor encontrada corresponden el cero por ciento del porcentaje de área acumulada. Al valor de cota mínima encontrada corresponde el ciento por ciento del porcentaje del área acumulada [9].

1.2.5 Pendiente media del cauce (Pm)

Es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo [13].

$$Pm = \frac{\nabla \text{ mayor} - \nabla \text{ menor}}{Lc}$$

Tabla 3. Clasificación para las pendientes media del cauce.

Rangos de Pendiente	Clases
1% - 5%	Suave
6% - 11%	Moderado
12% - 17%	Fuerte

Fuente: Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas las panelas y la balsa [14].

1.2.6 Pendiente media de la cuenca y las subcuencas (S)

Este parámetro permite conocer la posibilidad o tendencia de una cuenca a generar una crecida súbita.

Se calcula con la ayuda de la extensión Arc Hydro Tools del software ArcGIS, utilizando la herramienta Slope se obtiene el insumo junto con el shp de cuenca o subcuencas para luego usar la herramienta SLPPCT (Average Area Slope in percent) ubicada en la lista de Compute Local Parameters con la que se calcula la pendiente media para cada zona [15].

Tabla 4. Resumen de categorización y clasificación de la Pendiente Media de la Cuenca (%)

Categoría pendiente media (Escala 1:25000)				
1	2	3	4	5
Menor a 15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	Mayor a 65
Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado

Fuente: Estudio Regional del Agua, ERA 2013 [10]

1.2.7 Tiempos de concentración (Tc)

Es el tiempo teórico que se demora una gota de agua desde la parte hidrológicamente más alta de la cuenca hasta la desembocadura, el tiempo de concentración para este análisis está definido por las siguientes formulas propuestas por distintos autores. Se escoge el menor tiempo de concentración

obtenido debido a que representa la mayor intensidad, para la cuenca y las subcuencas [16].

$$Tc(Kirpich) = 0.06628 * \left[\frac{L}{s^{0.5}} \right]^{0.77}$$

Dónde:

Tc : Tiempo de Concentración en horas.

L : Longitud del cauce Principal en Km.

s : Pendiente media de la cuenca o subcuenca en m/m.

$$Tc(Temez) = 0.3 * \left[\frac{L}{s^{0.25}} \right]^{0.76}$$

Dónde:

Tc : Tiempo de Concentración en horas.

L : Longitud del cauce Principal en Km.

s : Pendiente media de la cuenca o subcuenca en %.

$$Tc(Giandotti) = \frac{(4 * A^{0.5}) + (1.5 * L)}{25.3 * (L * S)^{0.5}}$$

Dónde:

Tc : Tiempo de Concentración en horas.

L : Longitud del cauce Principal en Km.

s : Pendiente media de la cuenca o subcuenca en m/m.

A : Area de la cuenca Km².

$$Tc(Ventura - Heras) = 0.3 * \left[\frac{L}{s^{0.25}} \right]^{0.75}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de Concentración en horas.

L: Longitud del cauce Principal en Km.

s: Pendiente media de la cuenca o subcuenca en %.

1.3 CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN CLIMÁTICO

1.3.1 Análisis de series de tiempo

Las estaciones climatológicas activas distribuidas en el área total de la zona de estudio fueron identificadas a partir de la red hidrometeorológica georreferenciada del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y las del Sistema de Alertas Tempranas del convenio suscrito entre CORPOGUAJIRA y la Cruz Roja Colombiana seccional Guajira. (Ver Figura 2)

Las estaciones seleccionadas fueron todas aquellas estaciones activas que además de estar comprendidas dentro del área de influencia o ser vecinas, cumplen con tener información meteorológica en un periodo de tiempo uniforme de 15 años (2000 – 2014). Además, fueron descartadas todas las demás estaciones con menos del 70% de la información en el periodo de tiempo mencionado. En cuanto a las estaciones del Sistema de Alertas Tempranas no se tuvieron en cuenta en el análisis espacial debido a que su información de precipitación y temperatura diferenciaba mucho de los datos registrados por las estaciones del IDEAM; por ejemplo: hasta 1000 mm más de precipitación total

multianual en comparación con las estaciones monitoreadas por el IDEAM cercanas en distancia longitudinal, altitud.

Figura 2. Estaciones Climatológicas activas en el área de estudio



En la Tabla 5 se muestran todas las estaciones disponibles en el área de influencia de la cuenca, se muestran los parámetros a estudiar y aquellos que fueron rechazados por falta de medición continua.

Los tipos de estaciones presentes fueron, estaciones pluviográficas (PG), estaciones climatológicas ordinarias (CO), pluviométricas (PM), climatológicas principales (CP), y meteorológicas (ME).

Las abreviaciones utilizadas: P=precipitación; T=temperatura; X=información utilizada; R=información rechazada.

Tabla 5. Estaciones meteorológicas IDEAM en la zona de estudio

INFORMACIÓN BÁSICA				PARÁMETROS MEDIDOS	
NOMBRE	CÓDIGO	TIPO	RESPONSABLE	P	T
TERMOGUAJIRA	15035020	CO	IDEAM	R	R
MATITAS	15045010	CO	IDEAM	X	X
DIBULLA	15030010	PM	IDEAM	X	
CAMARONES	15050010	PM	IDEAM	X	
LA ARENA	15060270	PM	IDEAM	X	
LOS REMEDIOS	15060010	PM	IDEAM	X	
APTO A. PADILLA	15065010	CP	IDEAM	X	X
LAGUNITAS	15060040	PM	IDEAM	X	
HATICO D LOS	28010200	PM	IDEAM	X	

INFORMACIÓN BÁSICA				PARÁMETROS MEDIDOS	
INDIO					
LA PAULINA	15065040	CP	IDEAM	R	R
CRUZ LA HDA	15065100	ME	IDEAM	X	
GUACAMAYO	15060090	PG	IDEAM	X	
SABANAS DE MANUELA	15060050	PM	IDEAM	X	
POZO HONDO	15060100	PM	IDEAM	X	
GLORIA LA	15060180	PM	IDEAM	X	X

En algunos casos las estaciones presentan información incompleta debido a mal funcionamiento del equipo de medición o daños en el mismo, lecturas equivocadas del operador o dificultad del registro de la variable en observación.

Esta deficiencia de información puede solucionarse completando de manera aproximada las observaciones faltantes a través de métodos estadísticos. Para el presente proyecto, fue utilizado el método de correlación lineal, múltiple y de autocorrelación, métodos validos según [17]. Para la correlación lineal múltiple se debió:

- Confirmar que la estación no supera los 6 meses con datos faltantes de la variable total mensual en el periodo de estudio y, además, que estos no sean consecutivos.
- identificar las estaciones "Patrón" más cercana en distancia y similar altitud.
- graficar la variable total mensual acumulada de la estación patrón en la abscisa contra precipitación total mensual acumulada de la estación en estudio en la ordenada.
- Los datos faltantes se completan con la solución de la ecuación dada:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_k * x_k + u$$

Al igual que en la regresión lineal simple, los coeficientes b indican el incremento en la precipitación de la estación que tiene el dato faltante por el incremento unitario de las precipitaciones de estaciones vecinas que serán el grupo de variables explicativas.

Para la autocorrelación se debió:

- Confirmar que la estación no supera los 6 meses con datos faltantes de precipitación total mensual en el periodo de estudio y, además que estos no sean consecutivos.
- graficar la variable total mensual acumulada contra la posición de los datos hasta una posición anterior al primer dato faltante y se añade la regresión lineal simple.
- El dato faltante corresponde a la pendiente de la regresión lineal.

Para llevar a cabo estos métodos de llenado se utilizó la herramienta análisis de datos, la opción regresión del programa Microsoft Excel, el dato faltante se obtiene de la ecuación pronóstico que se construye a partir de los coeficientes arrojados por la herramienta de MS Excel.

1.3.2 Análisis espacial de la información

La interpolación IDW (Distancia inversa ponderada) determina los valores de celda a través de una combinación linealmente ponderada de un conjunto de puntos de muestra, en este caso de las estaciones representativas para cada variable. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Es llevada a cabo en el software ArcGis mediante su herramienta Spatial Analyst Tools opción Interpolation-IDW.

1.3.3 Análisis de frecuencia

El objetivo del análisis de frecuencia de información hidroclimatológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad.

Uno de los problemas más frecuente se encuentra en la selección de aquella función de probabilidad que describe de manera fidedigna el comportamiento de los datos y que ha de ser usada para el análisis de frecuencia.

Por tal motivo, en el análisis de frecuencia se escogieron seis de las funciones de distribución más usadas en variables hidroclimáticas, estas son: Gumbel, Normal, Lognormal, Lognormal de tres parámetros, Gamma de tres parámetros y Gamma de dos parámetros [18].

Para escoger la función que mejor se ajustara a los datos se realizó la prueba de bondad de ajuste por el método de Kolmogorov-Smirnov, válida para distribuciones continuas [19].

Luego las funciones que aprobaron la prueba de bondad y ajuste se les realiza la raíz del error cuadrático medio, RMSE (Root Mean Squared Error), ecuación usada para escoger una función de probabilidad que mejor se ajuste a las observaciones.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Una vez encontrada la función que mejor se ajusta a los datos se determinan los periodos de retorno para 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 500 años.

1.3.4 Curvas de intensidad-duración-frecuencia IDF

Con base en el análisis de la información pluviométrica máxima en 24 horas anualmente, se pueden hacer uso de funciones o relaciones IDF empíricas. Dada

la ausencia de registros pluviográficos, para generar las curvas IDF se usaron dos metodologías diferentes para generar las curvas IDF sintéticas y se listan a continuación:

- Método Vargas M.R. – Días-Granados O.M.

Es recomendado por el Manual de Drenaje de Carreteras del INVIAS [16]. Este método se basa en la ecuación propuesta por Kothyari y Garde la cual, luego de largos estudios, fue modificada, obteniéndose como resultado final la siguiente ecuación:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d$$

Dónde:

I: Intensidad de la lluvia en mm/h para un período de retorno “tr”

a, b, c, d, e: Parámetros de la ecuación

T: Período de retorno en años

t: tiempo en minutos

M: Promedio del valor máximo anual.

Tabla 6. Parámetros regionalizados para la zona Caribe

REGIÓN	a	b	c	d
Caribe	24.85	0.22	0.50	0.10

- Ecuación de Hargreaves

Se encuentra definida por la siguiente ecuación:

$$X = K \left(\frac{d}{60} \right)^{-\frac{3}{4}} Tr^{\frac{1}{6}}$$

Dónde:

K: Constante de Hargreaves

d: Duración de la tormenta

Tr: Periodo de retorno

Para la ecuación arriba mencionada, la constante de Hargreaves se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{X'}{24^{0.25} Tr^{\frac{1}{6}}}$$

Dónde:

X': Es el cuantil estimado por la metodología de Gumbel para 24 horas.

Tr: Es el periodo de retorno.

1.3.5 Zonificación Climática Caldas-Lang

La clasificación climática consiste en la división del territorio en áreas más pequeñas, homogéneas desde el punto de vista climático. Los parámetros básicos de cualquier clasificación climática son la temperatura y la precipitación.

La clasificación climática actual proviene del ajuste de dos modelos: la clasificación de Caldas y el modelo climático de Lang.

Ninguno de los dos sistemas, por si solos, tiene aplicabilidad o funcionalidad aceptables, por lo cual Schaufelberger (1962) [20] propuso su unificación e implemento el sistema de clasificación CALDAS-LANG que, por lo mismo, utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad.

Para realizar la clasificación se debió:

- Se localizan los sitios conociendo su altitud.
- Se obtiene los valores anuales de la temperatura y la precipitación
- Con el valor de la temperatura y el de la altitud, se determina el piso térmico al cual pertenece cada uno de los sitios que se están clasificando, correspondiente a la primera palabra del tipo climático, según caldas
- Se calcula el cociente P/T (Índice de Efectividad de la Precipitación o Factor de Lluvia de Lang) con este factor, se determina la segunda palabra del tipo climático.

Tabla 7. Clasificación climática de Caldas

PISO TÉRMICO	RANGO DE ALTURA (M)	TEMPERATURA (°C)	VARIACIÓN DE ALTITUD POR CONDICIONES LOCALES
Cálido (C)	0 – 1.000	$T \geq 24$	Límite Superior ± 400
Templado (T)	1.001 – 2.000	$24 > T \geq 17.5$	Límite Superior ± 500
			Límite Inferior ± 500
Frío (F)	2.001 – 3.000	$17.5 > T \geq 12$	Límite Superior ± 400
			Límite Inferior ± 400
Páramo bajo (Pb)	3.001 – 3.700	$12 > T \geq 7$	
Páramo alto (Pa)	3.701 – 4.200	$T < 7$	

Fuente: Atlas climatológico de Colombia - IDEAM, 2005 [21].

Tabla 8. Clasificación climática de Lang

COCIENTE P/T	CLASE DE CLIMA
0 – 20	Desértico
20.1 – 40	Árido
40.1 – 60	Semiárido
60.1 – 100	Semihúmedo
100.1 – 160	Húmedo
Mayor a 161	Superhúmedo

Fuente: Atlas climatológico de Colombia - IDEAM, 2005 [21].

1.3.6 Índice De Aridez

Según el IDEAM el índice de aridez es una relación entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, lo cual indica que 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 [10].

$$Ia = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial.

ETR : Evapotranspiración real.

Ia: Índice de aridez.

Tabla 9. Categorías de clasificación índice de aridez

Rango de valores Índice de Aridez	Categoría	Características
<0,15		Altos excedentes de agua
0,15-0,19		Excedentes de agua
0,20-0,29		Entre moderado y excedentes de agua
0,30-0,39		Moderado
0,40-0,49		Entre moderado y deficitario de agua
0,50-0,59		Deficitario de agua
>0,60		Altamente deficitario de agua

Fuente: Estudio Regional del Agua, ERA 2013 [10].

La Evapotranspiración Potencial (ETP) 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 según Thornwhite como:

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

Dónde:

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.

Determinar el índice de calor mensual (*i*):

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

A partir de la temperatura media mensual (t) Determinar el índice de calor Anual (I) sumando los 12 valores de i:

$$I = \sum i$$

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

Para realizar la corrección del número de días del mes y el número de horas de sol.

$$ETP = ETP(\text{Sin corregir}) * \frac{N}{12} * \frac{D}{30}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración Corregida.

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

D: Número de días del mes.

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de agua que sale del sistema hidrológico, por un lado, a través de evaporación del agua almacenada en la superficie y, por otra parte, de la transpiración de la capa vegetal, todo por condiciones actuales de la cuenca y no óptimas, como sucede con la evapotranspiración potencial.

Este parámetro se calculó según lo expuesto por Budyco como se muestra a continuación:

$$ETR = \left[\left(ETP * P * \operatorname{Tanh} \left(\frac{P}{ETP} \right) \right) * \left(1 - \operatorname{Cosh} \left(\frac{ETP}{P} \right) + \operatorname{Senh} \left(\frac{ETP}{P} \right) \right) \right]^{0.5}$$

1.4 CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN DE CAUDALES.

1.4.1 Descripción y evaluación de la red hidrológica

La estación hidrológica que se identificó para la caracterización de la zona de estudio se obtuvo a partir de la red hidrológica operada por IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) y la delimitación de la cuenca del Río Tapias. Las variables solicitadas al IDEAM de la estación Pte Bomba, fue Caudales Max-Min y Niveles Max-Min representan los valores de caudales y niveles máximos y mínimos de solo carácter mensual, pues es la única unidad temporal bajo la cual se distribuyen estas variables por parte de la entidad, mientras que los niveles y caudales medios fueron solicitados en las tres escalas de tiempo que entrega el instituto en mención.

Tabla 10. Estaciones Solicitadas al IDEAM, cuenca Río Tapias

Nombre	Tipo	Caudales			Caudales Max-			Niveles			Niveles Max-		
		Medios			Min			Medios			Min		
		D	M	A	D	M	A	D	M	A	D	M	A
PTE Bomba	LM	X	X	X		X		X	X	X		X	

La estación utilizada, además de estar comprendida dentro del área de influencia, cumple con tener información hidrológica en un periodo de tiempo uniforme mínimo de 10 años consecutivos según el Anexo A. Diagnóstico de la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS.

1.4.2 Llenado de datos faltantes

Se realizó un análisis de las series de tiempo de caudales medios diarios, mensuales y anuales. Para estos periodos de observaciones fue necesario establecer métodos que permitieran completar los registros hidrológicos disponibles de las estaciones:

Teniendo en cuenta los siguientes criterios, para la serie de caudales medios diarios:

- Se debe tener un periodo mínimo de 10 años consecutivos
- Confirmar que la estación no falta ningún año registro intermedio y que no se encuentre más de 2 meses consecutivo con datos faltantes o 6 meses en un mismo año de caudales medio diario en el periodo de estudio.

Se utilizaron 24 años (1990-2013), debido a que se cuenta con una sola estación de estudio el método de llenado utilizado para el llenado fue el de autocorrelación descrito en el numeral 1.3.1.

1.4.3 Curva de duración de caudales (CDC)

La curva de duración de caudales es el porcentaje de tiempo en el que un cierto valor de caudal es igualado o excedido. Se puede construir anual, mensual, estacional o diariamente. Para su construcción se utilizan los caudales medios a nivel de la escala de tiempo necesaria y se siguen los siguientes pasos:

- *Se toma el registro histórico de caudales medios se organizan de mayor caudal al menor.*
- Luego se estima la frecuencia relativa, en otras palabras, en porcentaje así:

$$fr_i = \frac{f_i}{n} * 100$$

Dónde:

fr_i = frecuencia relativa por registro

f_i = frecuencia absoluta por registro

n = numero total de registro

- Por último, se grafica la frecuencia relativa acumulada Vs La ordenada de mayor a menor de los caudales medios sin repetir, y se interpreta como la probabilidad en porcentaje de tiempo de un caudal puede ser igualado o excedido.

1.4.4 Componentes y parámetros para la caracterización del régimen de caudales.

Para la caracterización del régimen hidrológico en la cuenca del río Tapias se realizó un análisis de caudales medios según los componentes y parámetros encontrados en [22]. Donde se exponen los componentes y para metros para

calcular Magnitud, Variabilidad y Estacionalidad de valores normales y valores extremos.

1.4.5 Análisis de eventos extremos

El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad.

1.4.6 Análisis de Independencia

Para la serie de caudales máximos se realizó la prueba de coeficiente de correlación de los rangos de Spearman que se encuentra clasificada entre las pruebas no paramétricas y según [23] no se basa en la distribución de las observaciones mismas y su aplicabilidad se extiende hasta muestras de datos pequeñas. La prueba consiste en ordenar de menor a mayor las observaciones, posteriormente asociar cada valor a una ordenada específica y por último calcular la diferencia entre estas últimas para obtener el coeficiente Spearman:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

En donde d_i corresponde a la diferencia entre los rangos de las series de tiempo analizadas. Bajo la hipótesis nula de no existir dependencia alguna entre las series, el estadístico R_s puede ser aproximado por una distribución normal con:

$$E[R_s] = 0 \text{ y } \text{Varianza}[R_s] = \frac{1}{n - 1}$$

1.4.7 Análisis de Aleatoriedad

Para pruebas de aleatoriedad de un conjunto de datos hidrológicos Kottegoda expone un método conocido como estadística de corridas, la cual es definida como “una secuencia de variables de un tipo particular que es precedida o seguida por otra secuencia de variables de otro tipo o de ninguna en absoluto” (WMO, 2009) [24] El coeficiente de corridas puede ser aproximado por una distribución normal de media **C** y varianza **V**. [23]

$$C = 1 + \frac{2nm}{(n+m)}; V = \frac{2nm(2nm - n - m)}{(n+m)^2(n+m+1)}$$

1.4.8 Modelos probabilísticos

Aunque una serie hidroclimatológica sea independiente, aleatoria, homogénea y sin o con estacionalidad, uno de los problemas más comunes se encuentra en la selección de la función de probabilidad que describa de manera fidedigna el comportamiento de los datos.

Por tal motivo, en el análisis de frecuencia se escogieron seis de las funciones de distribución más usadas en variables hidroclimáticas, estas son: Gumbel, Normal, Lognormal, Lognormal de tres parámetros, Gamma de tres parámetros y Gamma de dos parámetros [18].

El procedimiento para su escogencia se describió en el numeral 1.3.3.

Luego realizamos un análisis de confiabilidad mediante el cálculo de límites de confianza para un nivel de confianza $\beta=90\%$.

Una vez encontrada la función que mejor se ajusta a los datos se determinan los periodos de retorno para 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100,500 años.

2. RESULTADOS

La cuenca del río Tapias se localiza en el departamento de La Guajira en la cara norte de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, en jurisdicción de los Municipios de Riohacha y Dibulla, cubre una extensión de 1.081,11 km², que representa un 5% del área total del departamento

El cauce principal de la cuenca nace en el Cerro de Los Micos a una altura aproximada de 2800 msnm, el cauce principal tiene una longitud de 112 kilómetros aproximadamente hasta su desembocadura en el Mar Caribe en la Punta de La Enea.

2.1 COMPONENTE HIDROGRÁFICO

2.1.1 Ajuste delimitación Cuenca Hidrográfica

Debido a que la delimitación del POMCA realizado entre 2009-2011 fue obtenida con insumos a escala 1:500000 y presenta un área de 107,853.50 Ha y la delimitación propuesta obedece a la necesidad de ajustar la delimitación vigente a la escala de trabajo 1:25.000 exigida para el POMCA con la cual se obtuvo un área de 108,111.34 Ha, la diferencia total corresponde a 257.84 hectáreas, es decir, un 0.23% adicionales (*Anexo A*).

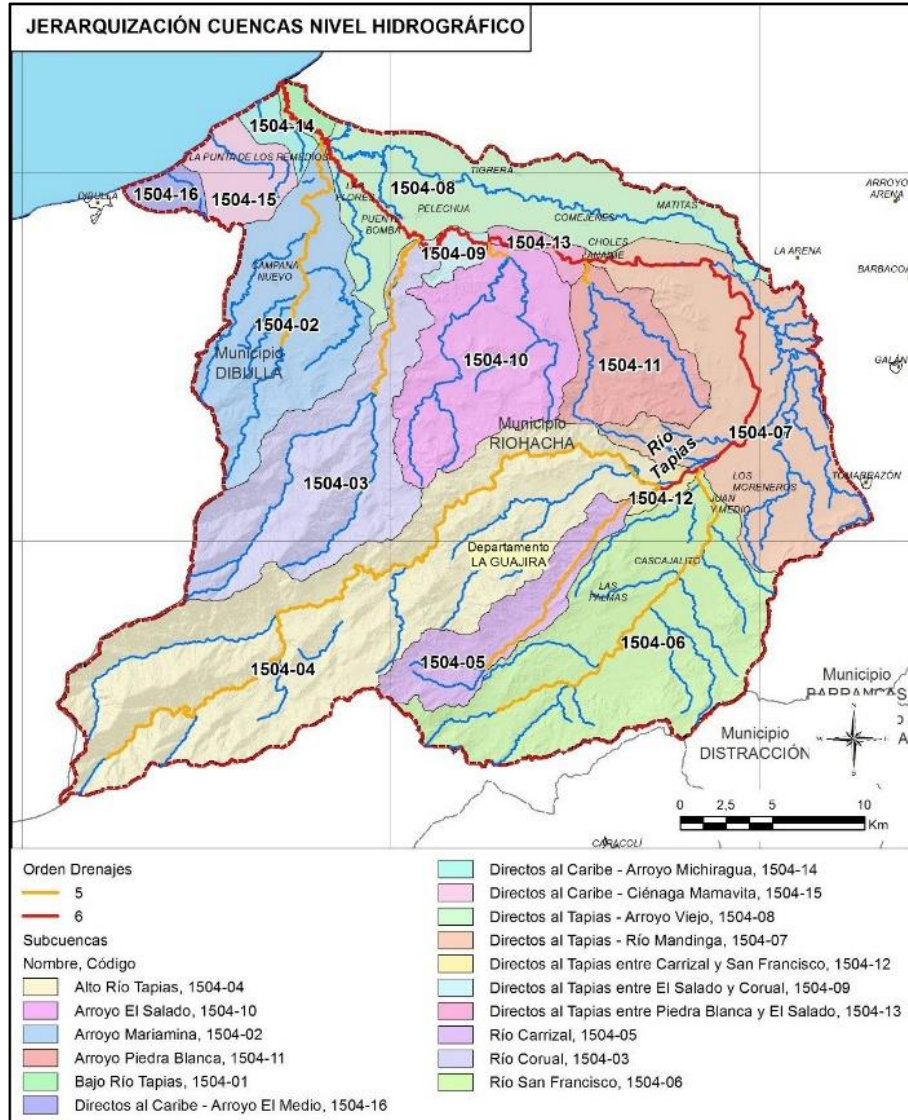
2.1.2 Delimitación y codificación de subcuencas

Siguiendo la metodología propuesta por Strahler (1952) basada en la de Horton (1945) se obtuvo que el orden de drenaje para la cuenca del río Tapias y el cauce principal es de orden 6. A partir de esto se identificaron siete (7) subcuencas de orden 5: Arroyo El Salado, Arroyo Mariamina, Arroyo Piedra Blanca, Río Carrizal, Río Corual, Río San Francisco y El Alto Río Tapias; cinco (5) intercuencas identificadas como “Directos al Tapias”; y tres (3) subcuencas que desembocan directamente al Mar Caribe y que por tanto fueron identificadas como “Directos al Caribe”

El proceso de codificación se realizó siguiendo las recomendaciones del IDEAM descritas en el documento Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia (*Anexo B*).

En la Figura 3 se observa los cauces de orden 5 y 6 así como la delimitación por subcuencas y su codificación.

Figura 3. Delimitación subcuencas



2.1.3 Densidad de drenaje de la cuenca

La cuenca presenta densidad de drenaje 3.46 [Km/Km²], es decir, Muy alta así como para 8 de las subcuencas, Alta para 2, Moderadamente alta para 3 y 4 Baja (3 de los directos al caribe y Bajo río tapias) (Anexo C).

2.2 COMPONENTE MORFOMÉTRICO

En la Tabla 11 se pueden ver los parámetros morfométricos calculados para la cuenca del río Tapias.

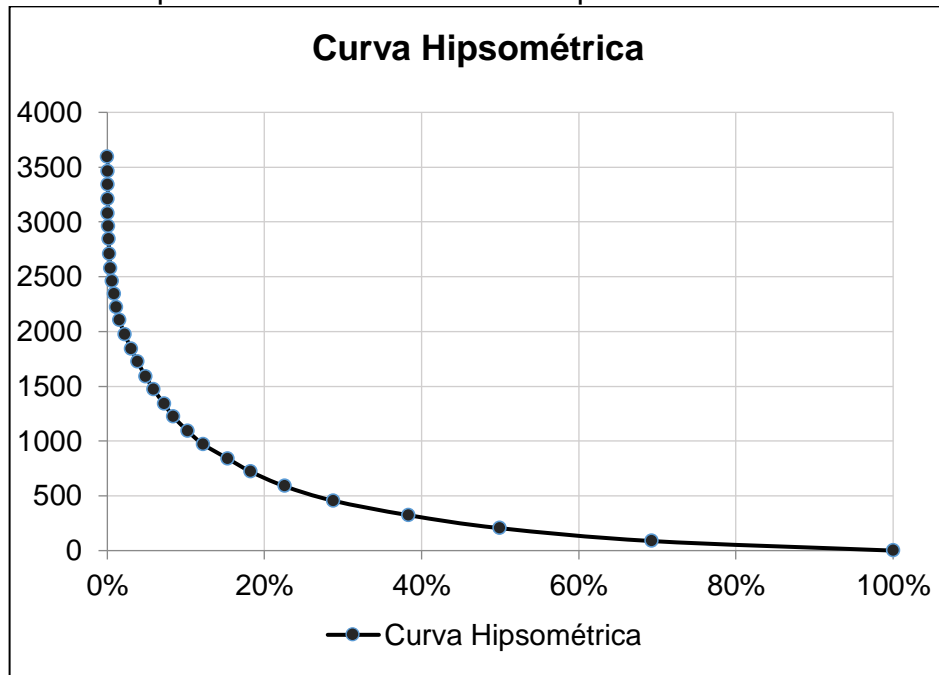
Tabla 11. *Parametros morfométricos.*

Parámetro	Valor	Clasificación
$A [Km^2]$	1,081.11	
$P [Km]$	180.36	
<i>Ancho máximo</i> [Km]	38.61	
<i>Longitud Axial</i> [Km]	78	
		De oval oblonga a rectangular
Kc	1.55	oblonga
		PA [Poco Alargada]
Ia	1.047	
$Afd[\%]$	48.827	
$AfI[\%]$	51.173	
$Lc [Km]$	111.728	
$PM [\%]$	2.995	Suave
$S[\%]$	22.495	Fuerte
$Tc Kirpich[horas]$	4.634	

Los parámetros morfométricos para cada subcuenca y cálculos de la curva hipsométrica se encuentran en (*Anexo D*). La curva nos muestra que la cuenca se encuentra en su fase de vejez o fase sedimentaria (cuenca de valle) Según [25]. Pues aproximadamente el 70% de la cuenca se encuentra por debajo de la

elevación media de la cuenca 410.63 m.s.n.m lo que indica que ha sufrido un proceso erosivo tiempo atrás (Ver Figura 4).

Figura 4. Curva Hipsométrica Cuenca del río Tapias

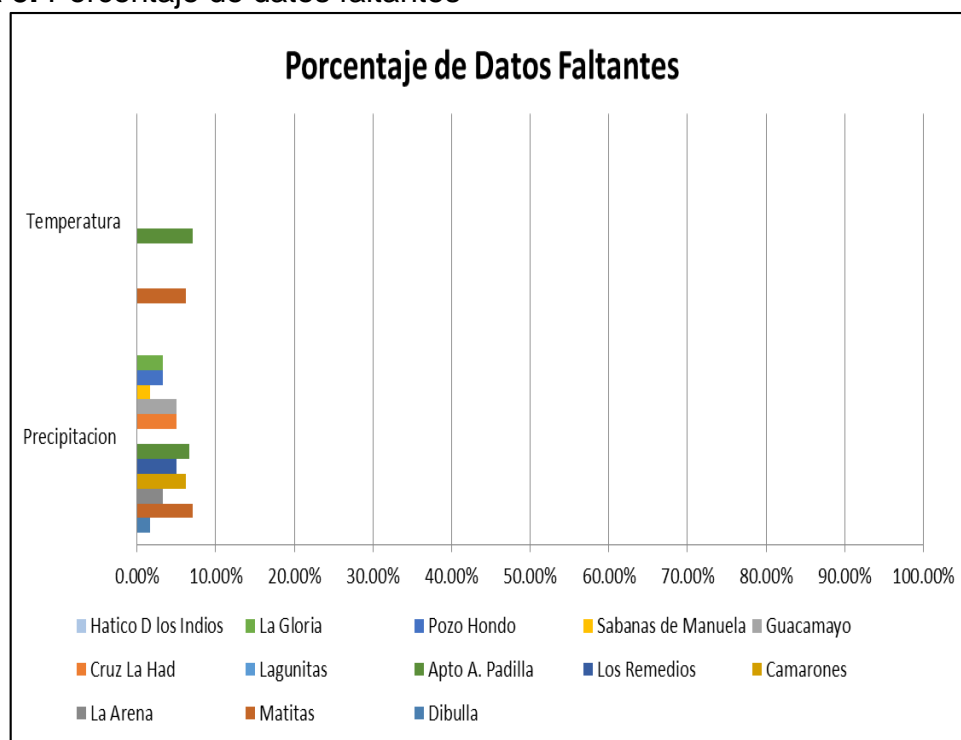


En general y teniendo en cuenta los parámetros de K_c , P_m , S , Curva hipsométrica y densidad de drenaje se puede inferir que la cuenca debido a su forma poco probable la acumulación de grandes volúmenes, por su pendiente de cause suave y pendiente de cuenca moderada una dinámica de flujo lenta y de poco potencial erosivo, como se ve en la curva hipsométrica. Debido a que presenta una densidad de drenaje alta ayuda a una respuesta rápida en el influjo de precipitaciones.

2.3 CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN CLIMÁTICO

Para el análisis de series de tiempo se utilizaron las estaciones mencionadas en el numeral 1.3.1 a las cuales se les realizó un análisis de porcentaje de dato faltante para las variables que media cada una (Ver Figura 5). El llenado de datos Faltantes se puede observar en el (*Anexo E*).

Figura 5. Porcentaje de datos faltantes



2.3.1 Régimen de Precipitaciones valores Normales

En la cuenca del río Tapias según las estaciones más cercanas predomina el régimen bimodal, es decir dos periodos de lluvia (abril a mayo – Septiembre a noviembre), con dos periodos secos siendo el más fuerte entre enero y febrero. En

la parte baja de la cuenca al Nor-Occidente cerca al mar caribe presenta régimen bimodal con máximos entre septiembre y noviembre, mientras al Sur-Este presenta régimen bimodal con máximos de precipitación entre abril a mayo y Septiembre a noviembre (Ver Figura 6 y Figura 7) (Anexo F).

Figura 6. Precipitación media mensual multianual estación Dibulla nor-Oeste cercana al mar caribe

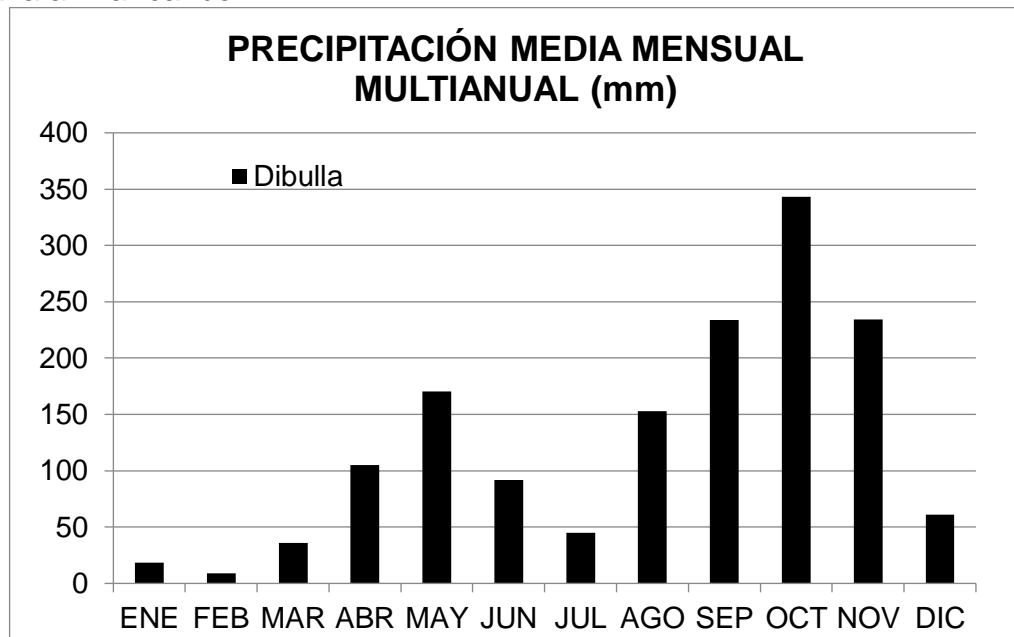
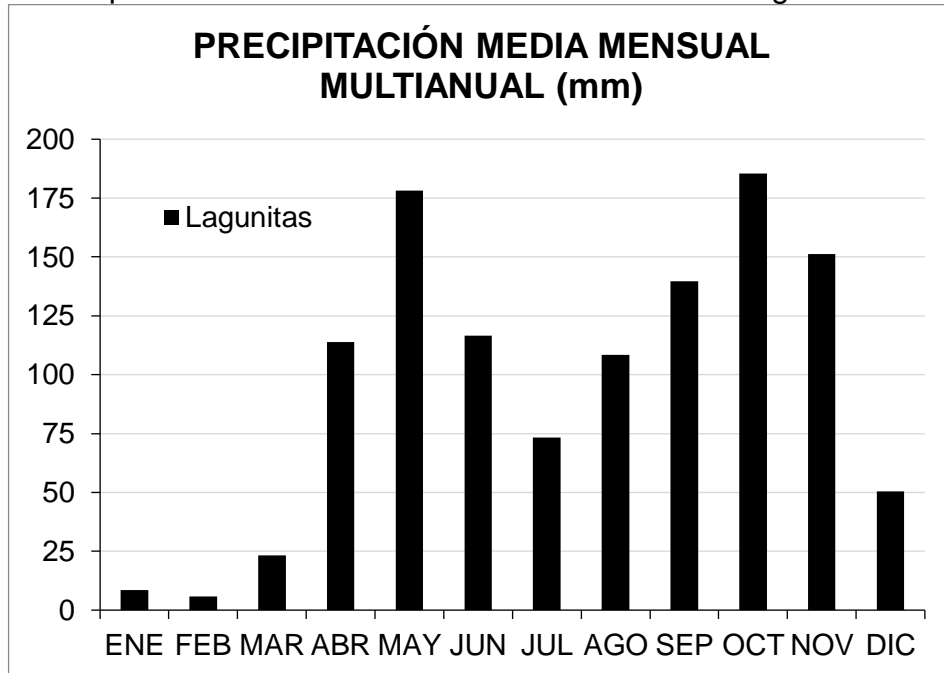


Figura 7. Precipitación media mensual multianual estación Lagunitas Sur- este



En los meses de Octubre y Noviembre para media mensual multianual en las zonas de mayor lluvia (zona oeste hacia el municipio de Dibulla y parte de la sierra nevada de santa Marta) se tienen valores entre 340-450 [mm] al mes y para los meses de enero y marzo para las zonas menos lluviosas (Sur-este y Centro-este) presenta valores entre 5-15 [mm] al mes.

En la Precipitación total anual, se muestra una tendencia constante en el periodo estudiado (2000 - 2014). Visualmente, los años más lluviosos fueron el 2010 y el 2011 con precipitaciones totales entre (1800-2200) en [mm] (Fenomeno de la Niña), y los más secos fueron los años 2000 y 2009 con una mayor parte de registros totales anuales menores a 750 [mm] (ver Figura 8 y Figura 9).

Figura 8. Precipitación Total anual estación Matitas norte

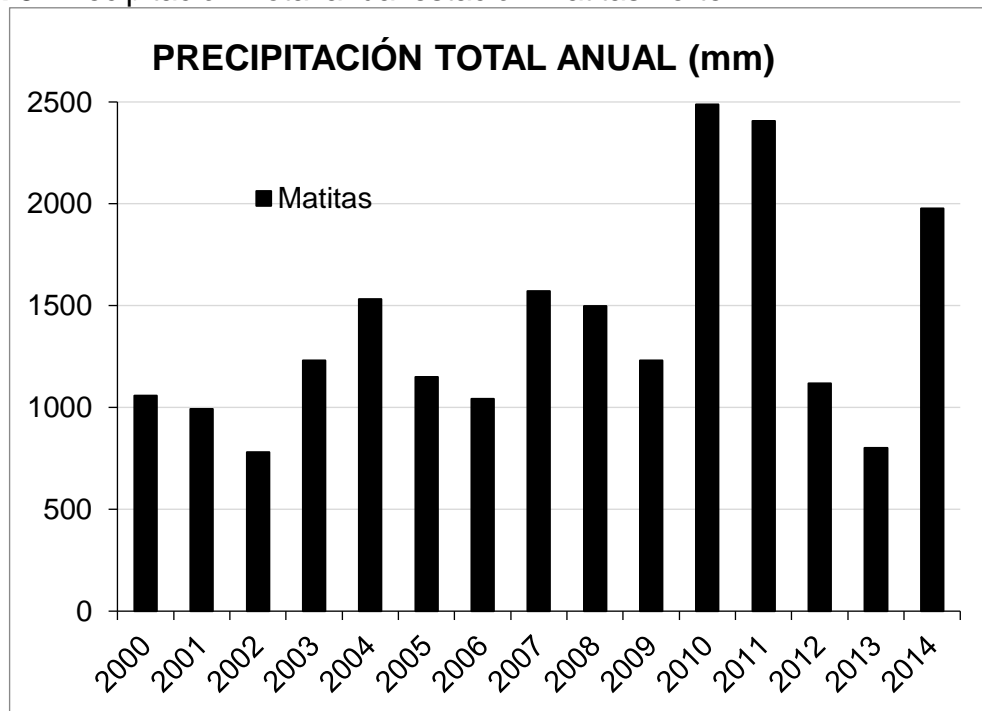
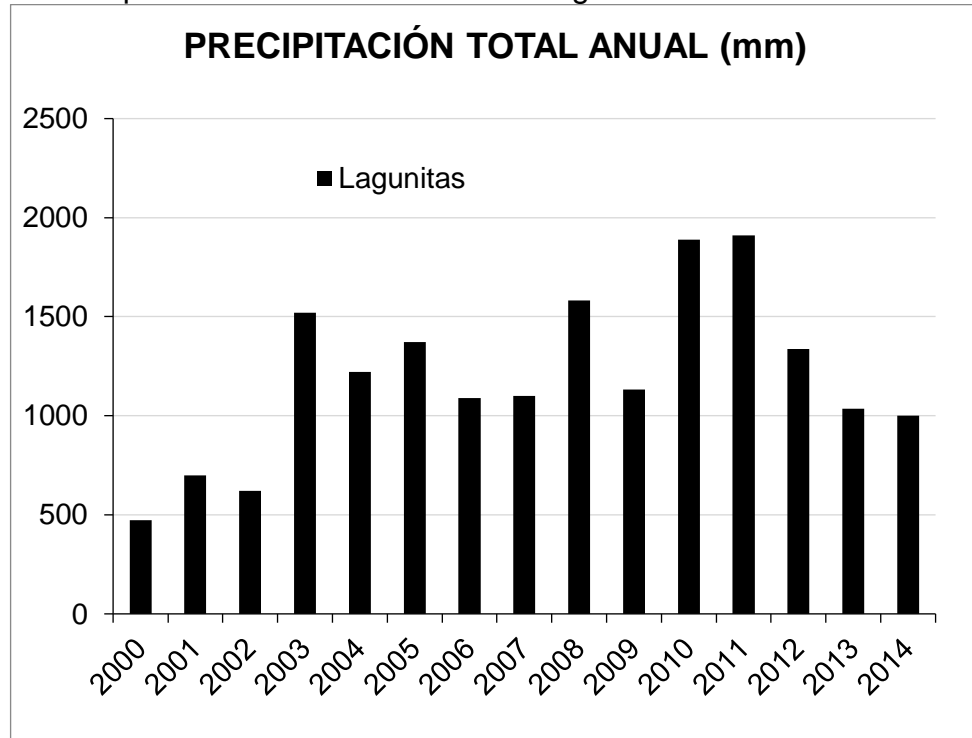
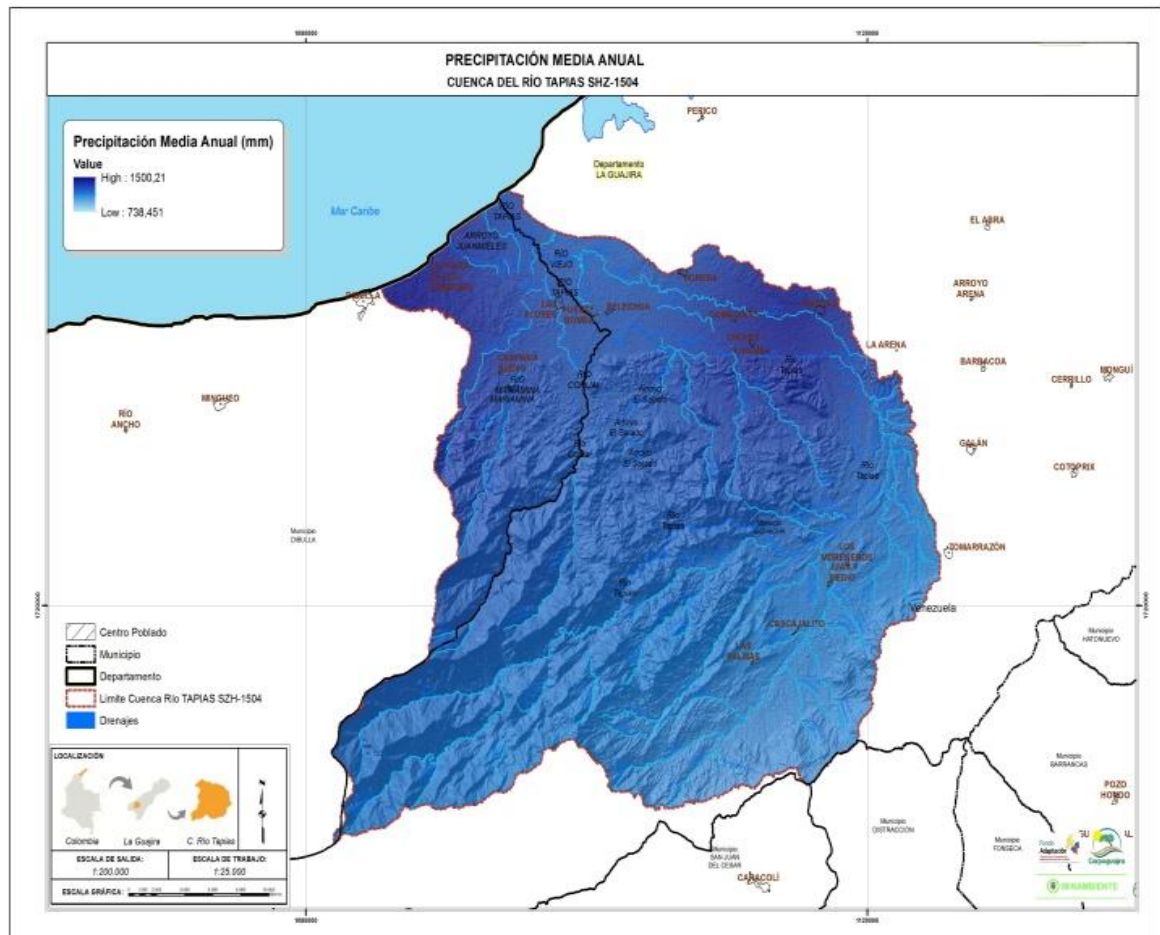


Figura 9. Precipitación Total anual estación Lagunitas sur-este



La cuenca del río Tapias presenta una precipitación media anual según las estaciones en estudio que varía entre 700 [mm] y 1500 [mm] presentando las precipitaciones más bajas hacia sur-este y las más altas al Nor-occidente, aunque la especialización es errada hacia la parte alta donde nace el río Tapias ya que en este lugar es donde se presenta las precipitaciones más altas, pero debido a la falta de una estación de monitoreo en esta zona se obtienen valores menores (Ver Figura 10).

Figura 10. Especialización Precipitación media anual



2.3.2 Régimen de Precipitaciones Valores Máximos

Luego de realizar las pruebas de bondad y ajuste y de error cuadrático medio para la elección de la función de probabilidad que mejor se ajustara a cada estación con los valores de precipitación max en 24 horas se procedió al cálculo y la especialización de los periodos de retorno (Ver Figura 11) (Anexo G).

Tabla 12 Análisis de frecuencia precipitación máx. 24 horas periodos de retorno estación Matitas.

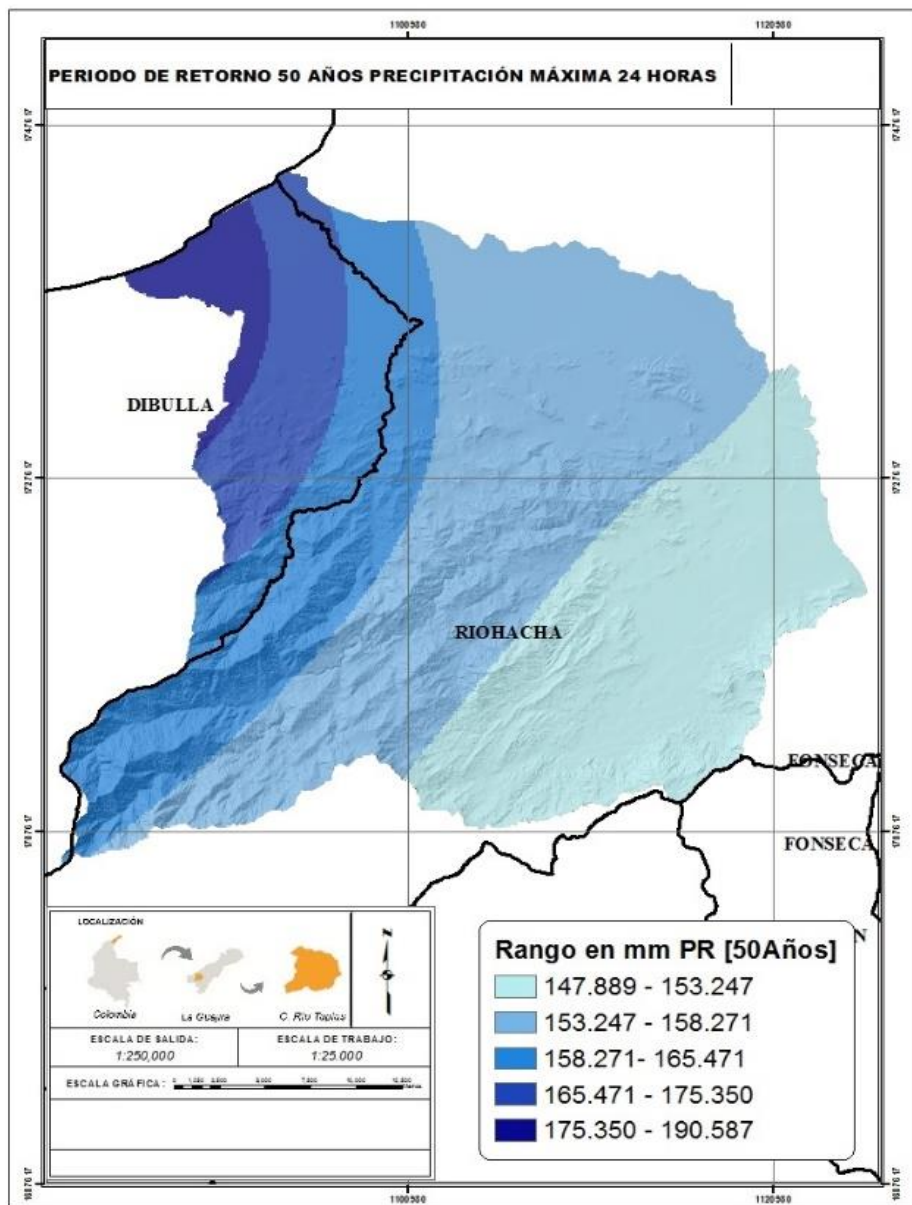
	Localización	Escala	Forma	Límite
--	--------------	--------	-------	--------

	Localización	Escala	Forma	Límite
Gamma (III)	95.93	30.78	-0.21	-

Muestra			Gamma (III)			
			W	Z	KT	Cuantil
DATOS	T (años)	Pr(X>x)				
169.3	500	0	3.53	2.88	2.63	176.8
135	100	0.01	3.03	2.33	2.17	162.8
134	50	0.02	2.8	2.05	1.94	155.66
130	30	0.03	2.61	1.83	1.75	149.8
121.4	25	0.04	2.54	1.75	1.68	147.55
114.8	20	0.05	2.45	1.65	1.58	144.67
114	15	0.07	2.33	1.5	1.46	140.73
105	10	0.1	2.15	1.28	1.26	134.62
101	5	0.2	1.79	0.84	0.85	122.09
100.2	2.33	0.43	1.3	0.18	0.21	102.44
100	2	0.5	1.18	0	0.03	97

La estación Matitas única ubicada dentro de la cuenca, en su registro de precipitación máxima en 24 hr cuenta con 24 años de registro, con una precipitación máxima registrado de 169.30 mm en un periodo de 24 hr y para sus registros según la prueba de ajuste Kolmogorov-Smirnov y la prueba de RMSE la función de probabilidad que mejor se le ajusta es la de Gamma III y los resultados para los periodos de retorno se pueden ver en la Tabla 12.

Figura 11. Especialización periodo de retorno 50 años para precipitación máxima en 24 horas



2.3.3 Curvas Intensidad –Duración-Frecuencia IDF

Con base en el análisis de la información pluviográfica máxima en 24 horas anualmente, se pueden hacer uso de funciones o relaciones IDF empíricas. Dada

la ausencia de registros pluviográficos, para generar las curvas IDF se usaron 2 metodologías

- Vargas M.R. – Días-Granados O.M.
- Hargreaves

Para el análisis de eventos extremos se calcula la intensidad de la lluvia considerando escenarios con periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100 y 500 años, para duraciones de hasta 120 minutos, y así estimar curvas, para todas las estaciones utilizadas, de Intensidad-Frecuencia-Duración (IDF) (*Anexo H*).

A continuación se presentanas las curvas IDF para la estación matitas según el método de Vargas y Días Granados y el de método Hargreaves , como se observa el método de Vargas y Días Granados parece ser un método más conservador a la hora de diseño sin embargo puede resultar más confiable debido a que las ecuaciones del método fueron calibradas a partir de curvas IDF Reales de las diferentes zonas del país (además de ser recomendado por el Invias) (Ver Figura 12 y Figura 13).

Figura 12. Curvas IDF estación matitas Método (Vargas M.R. – Días-Granados O.M)

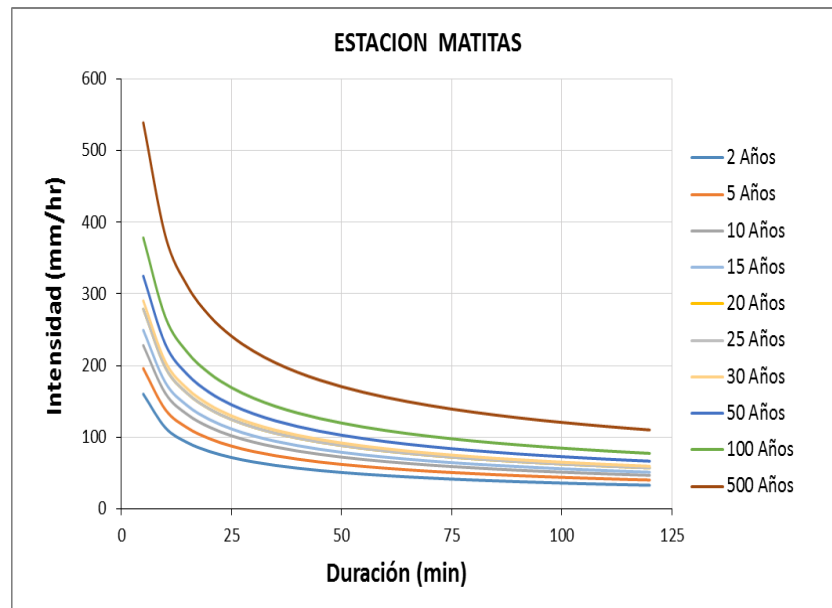
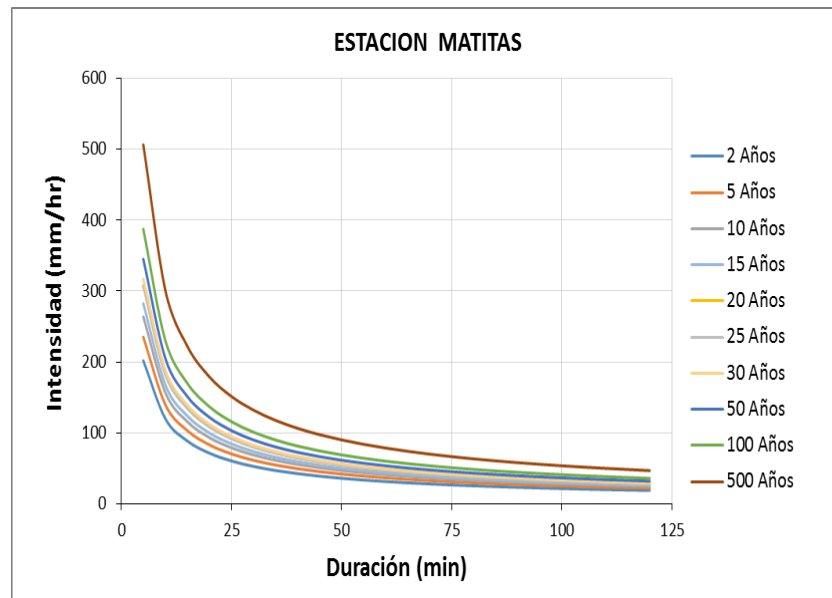


Figura 13. Curvas IDF estación matitas Método (Hargreaves)

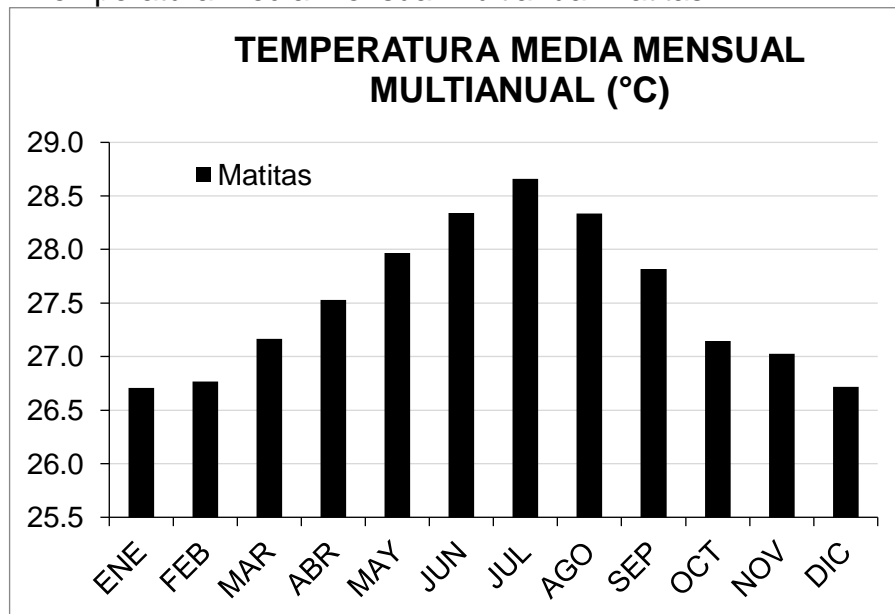


2.3.4 Temperatura Valores normales

Para el análisis de Temperatura de la Cuenca del Río Tapias se tuvieron en cuenta las estaciones: Matitas y Apto Alm. Padilla por parte del IDEAM, debido a que no se cuenta con las estaciones necesarias para su especialización se optó por utilizar la base de datos de WorldClim – Global Climate Data [26] que representa promedios de largo plazo (entre los años 1950 y 2000) esta información se validó con las estaciones existentes.

Temporalmente la temperatura presenta un comportamiento monomodal, se eleva en los meses centrales del año y disminuye en el periodo Diciembre – Febrero, conservando el comportamiento en todas las estaciones de estudio para mediciones mínimas, medias y máximas (Ver Figura 14).

Figura 14. Temperatura media mensual multianual Matitas

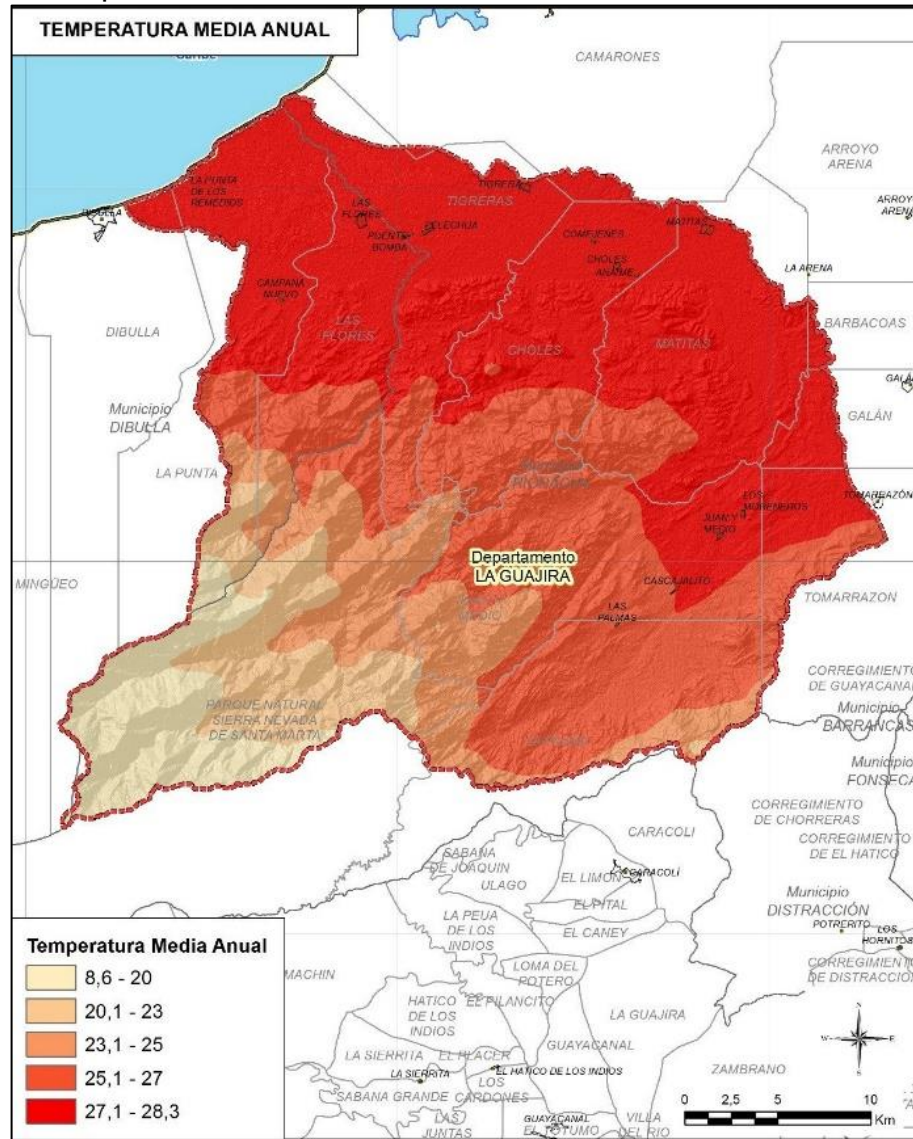


Para la media mensual multianual espacialmente muestra que la temperatura mínima se encuentra en un rango de 0 a 25 °C, la temperatura media de 7 – 29 °C y la temperatura máxima oscila entre 3 – 40 °C.

La temperatura media anual en la cuenca del río Tapias oscila para la temperatura mínima en un rango de 5 a 23 °C, para la temperatura media es de 9 – 28 °C y la temperatura máxima oscila entre 14 – 40 °C.

La temperatura alrededor de la Cuenca del Río Tapias varía entre 0 ° C y 40 °C, la temperatura se mantiene relativamente constante en la zona norte y centro de la cuenca, disminuyendo drásticamente en la parte alta de la cuenca hacia el suroccidente (*Anexo I*).

Figura 15. Temperatura Media Anual



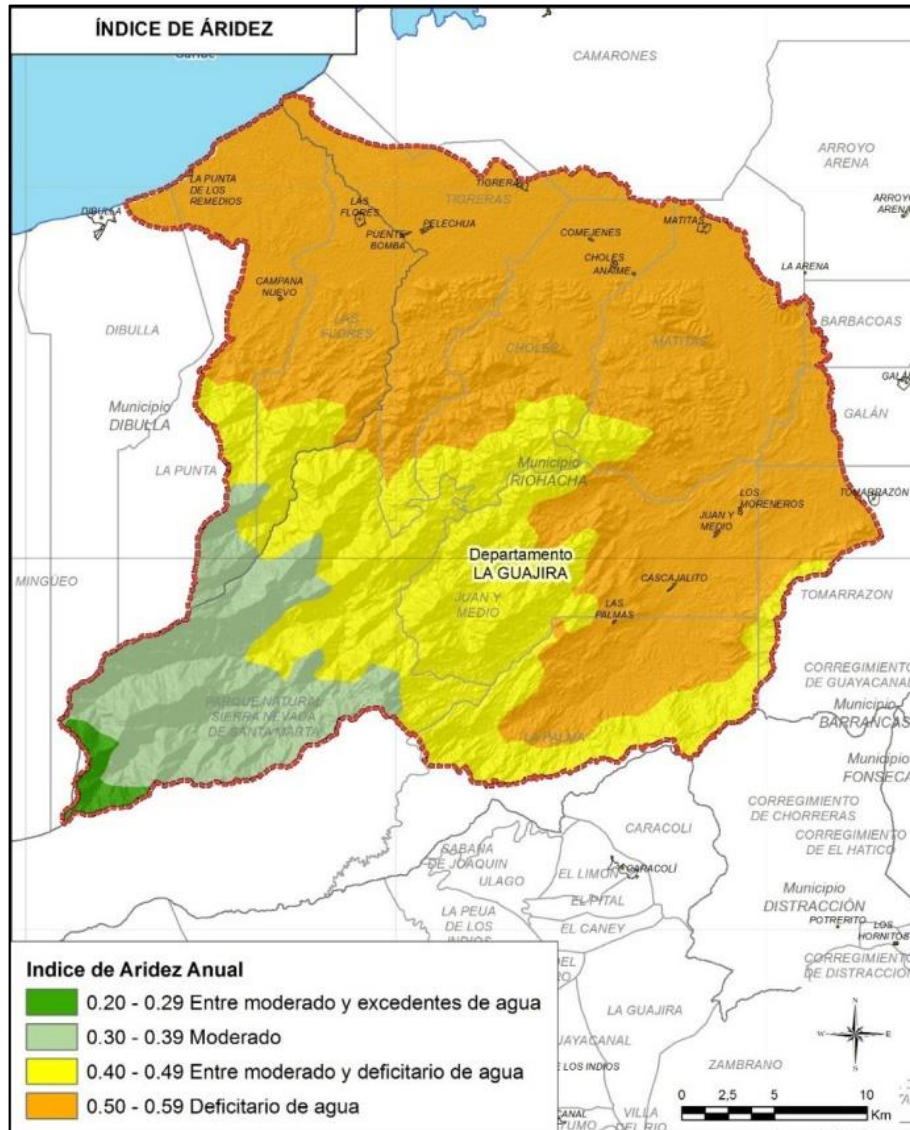
2.3.5 Zonificación Climática Caldas-Lang

Siguiendo la metodología descrita se obtuvo 5 tipos dinámicos según la clasificación de Caldas-Lang: Templado SemiHúmedo, Templado Húmedo, Frio

2.3.6 Distribución espacial índice de aridez

El índice de aridez (IA) que presenta la cuenca del Río Tapias disminuye desde el norte hacia el sur. Hacia la zona noroccidental el IA es mayor a 0.6 lo que indica que es una parte altamente deficitaria de agua, hacia el centro de la cuenca se tiene que, es una zona deficitaria de agua y en la zona sur baja se tiene un IA que indica que es entre moderado y deficitario de agua (*Anexo J*) (*Ver Figura 17*).

Figura 17. Índice de Aridez Media Anual



2.4 CARACTERIZACIÓN RÉGIMEN HIDROLÓGICO

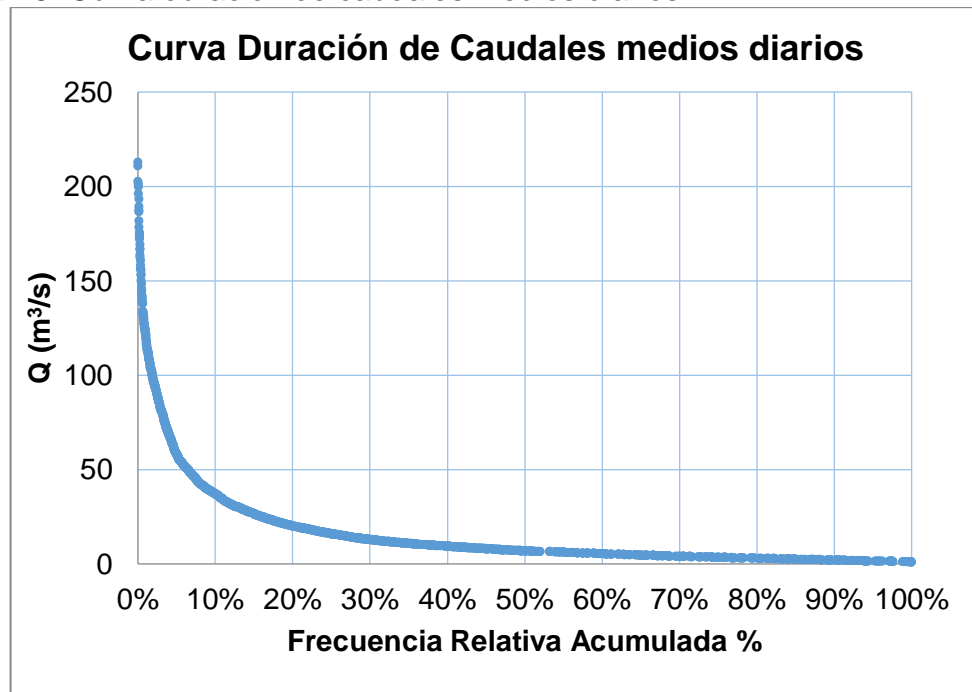
Para la caracterización del régimen climático se contó la información de caudales a escala diaria, mensual y anual para valores medios y escala mensual para máximos de la estación Pte bomba, La estación de Pte. Bomba se encuentra

localizada sobre el Río Tapias, En el corregimiento de Pte Bomba Cerca de Pelechua, en la capital Riohacha, el llenado de datos faltantes se encuentra en el (Anexo K).

2.4.1 Curva duración de caudales

La curva de duración de caudales a nivel diario es la que mejor aporta detalle del comportamiento hidrológico de una corriente se calculó con 24 años de datos (1990-2013), temporada en la cual se presentaron un total de 0.5% de datos faltantes (Ver Figura 18), los cálculos y curvas CDC a nivel mensual y anual se encuentran en (Anexo L).

Figura 18. Curva duración de caudales medios diarios



2.4.2 Caracterización Valores Normales y Extremos de caudales.

Parámetros propuestos para la caracterización de caudales Tabla 13 Parámetros caracterización de caudales se pueden ver en la Tabla 13 (Anexo M) [22] .

Tabla 13 Parámetros caracterización de caudales

Parámetros según Martínez, C. & Fernández, J. A (2006)	VALOR (m^3/s)	
	Media de las aportaciones anuales	Año medio
Mes de máxima y mínima aportación	Año medio	Nov- Mar
Diferencia entre los caudales medios diarios correspondientes a los percentiles de excedencia del 10% y 90%	Q 10%	36.72
	Q 90%	1.70
Media de los máximos caudales diarios anuales	(Qc)	168.99
Caudal de la avenida habitual (percentil de excedencia del 5%)	Q 5%	58.10
Coeficiente de variación de máximos caudales diarios anuales	CV(Qc)	1.04
Máximo No de días consecutivos con caudal medio diario >Q5%	1Nov-2Dic 2004	32
Media de los mínimos caudales diarios anuales	(Qs)	1.82
Caudal de sequía habitual (percentil de excedencia del 95%)	Q 95%	1.20
Coeficiente de variación de máximos caudales diarios anuales	Cv(Qs)	1.095

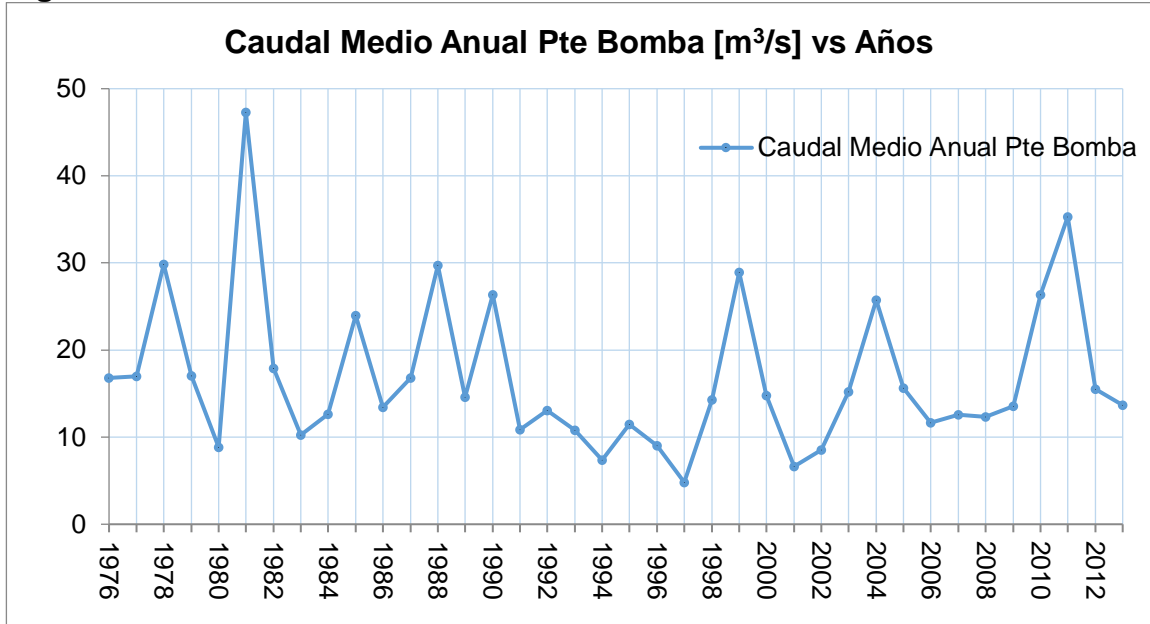
Parámetros según Martínez, C. & Fernández, J. A (2006)	VALOR (m^3/s)	
Máximo no de días consecutivos con caudal medio diario <Q95%	13feb-17abril 2003	64

Tabla 14. Número medio de días mensual con $Q > Q5\%$ y $Q < Q95\%$

	No medio de días con $Q > Q5\%$	No medio de días con $Q < Q95\%$
Enero	0,38	1,33
Febrero	0,5	5,08
Marzo	0,17	7,92
Abril	1,13	4,33
Mayo	1,83	0,08
Junio	0,67	0,38
Julio	0,17	1,04
Agosto	0,54	0,25
Septiembre	1,21	0
Octubre	3,83	0
Noviembre	6,04	0
Diciembre	1,79	0

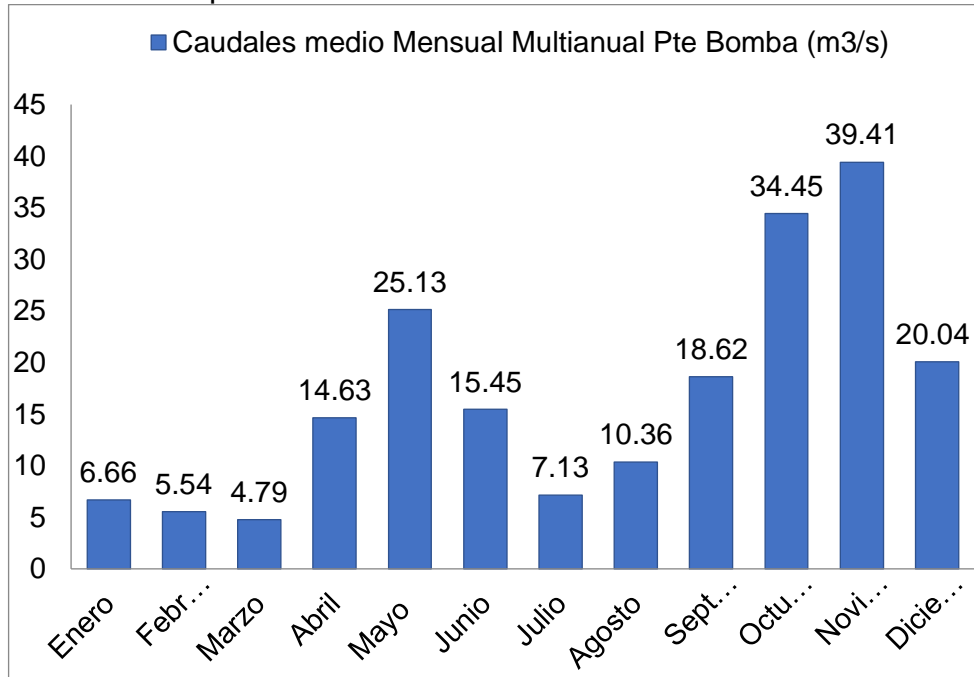
La estación de Pte Bomba presenta un caudal medio multianual igual a $16.85 \frac{m^3}{s}$, históricamente los años de mayor caudal promedio presentado fueron 1981 y 2011 en los cuales se presentó fuertemente el fenómeno de la niña, mientras los caudales más bajos se presentaron en los años de 1997 y 2001 debido al fuerte verano a causa del fenómeno del niño (Ver Figura 19).

Figura 19. Caudal Medio Anual estación Pte Bomba



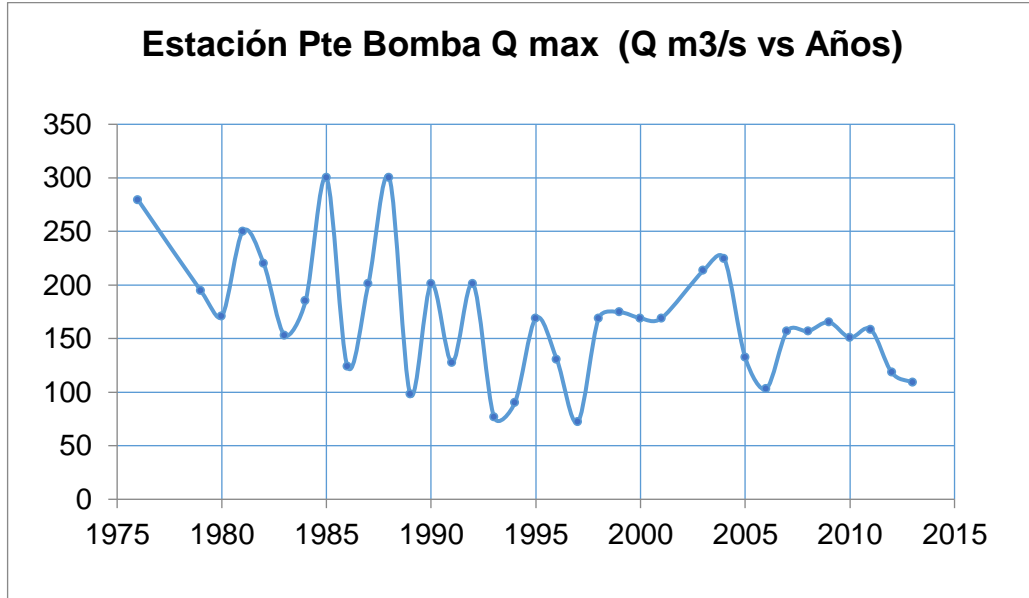
La estación muestra un régimen bimodal para el registro de caudales medios mensuales en la estación de Pte Bomba, con valores máximo de caudales entre octubre – noviembre con caudales medios entre $34.45 \frac{m^3}{s}$ y $39.41 \frac{m^3}{s}$ y mínimos entre enero–marzo con caudales medios de $4.79 \frac{m^3}{s}$ a $6.66 \frac{m^3}{s}$ (Ver Figura 20).

Figura 20. Caudales promedio mensual multianual Pte Bomba



El mayor caudal registrado es de $300 \frac{m^3}{s}$ y se presentó en los años de 1985 y 1988, años con presencia de fenómeno de la niña, ahora se puede apreciar una gran variabilidad para los años antes de 1990 y tiene a estabilizarse después de 1990 esto se puede apreciar con el cálculo del coeficiente de variación que dio como resultado 1.07 para los años (1976-1990) y 0.98 para los años (1991-2013)

Figura 21. Serie histórica de caudales máximos diarios anuales



2.4.3 Análisis de eventos extremos

- *Análisis de Independencia*

Prueba realizada por el método de Coeficiente de correlación de los rangos de Spearman (Rs)

Tabla 15. Resumen Prueba Independencia

Estación	Método	Variable	Z _{MUESTRA}	Respuesta
Pte Bomba	SMA	Q [m³/s]	-1.18	Los datos son Independientes
		N [cm]	2.46	Los datos no son Independientes

- *Análisis de aleatoriedad*

Prueba realizada por el método de corridas

Tabla 16. Resumen Prueba Aleatoriedad

Estación	Método	Variable	Z _{MUESTRA}	Respuesta
Pte Bomba	SMA	Q [m ³ /s]	0.56	Los datos son aleatorios
		N [cm]	0.94	Los datos son aleatorios

Los datos de caudales máximos aprobaron las pruebas de análisis de confiabilidad y una vez determinado la función de probabilidad que mejor se le ajusta para la serie de caudales máximos (Log normal), se determina los periodos de retorno ver en Tabla 17 (*Anexo N*).

Tabla 17. Análisis de frecuencia Periodos de retorno Caudales estación Pte Bomba

	Localización	Escala	Forma	Límite
LogNormal	5.02	0.33	-	-

Muestra				LogNormal		
				W	Z	Cuantil
DATOS	Log	T (años)	Pr(X>x)			
300	2.477	500	0.002	3.526	2.879	395.573
300	2.477	100	0.010	3.035	2.327	329.033
224,5	2.351	50	0.020	2.797	2.054	300.413

Muestra				LogNormal		
				W	Z	Cuantil
213,4	2.329	30	0.033	2.608	1.834	279.154
201	2.303	25	0.040	2.537	1.751	271.503
201	2.303	20	0.050	2.448	1.645	262.075
201	2.303	15	0.067	2.327	1.501	249.790
185	2.267	10	0.100	2.146	1.282	232.129
174,6	2.242	5	0.200	1.794	0.841	200.401
169	2.228	2,33	0.429	1.301	0.178	160.593
169	2.228	2	0.500	1.177	0.000	151.324

3. CONCLUSIONES

El ajuste a la delimitación de la cuenca de escala 1:500,000 a escala 1:25,000, presenta una diferencia total de 257.84 hectáreas, es decir, un 0.23% adicionales, las porciones de áreas adicionales o restantes no se presentan en la zona de alta montaña, por lo que se presume que, en términos de aporte de escorrentía, no habrá un agravante en las temáticas de torrencialidad y no presenta cambio en la jurisdicción de las entidades que se encargan de regular el uso de los recursos naturales.

La cuenca del río Tapias presenta una densidad de drenaje Muy Alta 3.46 [Km/Km²] al igual que la mayoría de sus subcuencas, con excepción de las subcuencas directas al caribe debido a las pendientes bajas presentadas en la zona. Por lo cual se infiere que la cuenca presenta una respuesta relativamente rápida, al influjo de la precipitación.

La cuenca del río Tapias presenta un área de 1081.11 [Km²] y un perímetro de 180.36 [Km] , es una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga (Kc=1.55), con una pendiente media de cause (PM [%] =2.995) suave, una pendiente media de la cuenca (S [%]=22.495), un índice de alargamiento (Ia=1.047) poco alargada, lo que generalmente indica un cauce principal corto. Sin embargo debido a su forma de arco presenta una (Lc=111.728 km). Como análisis de los parámetros morfométricos se puede concluir que la cuenca presenta baja probabilidad de presentar eventos de avenidas súbitas, ya que no presenta Zonas geomorfológicas con potencial de torrencialidad, a nivel de subcuenca presenta

parámetros similares de forma y varían los parámetros debidos a pendientes de cada zona, no obstante presentan un comportamiento similar por lo cual, las zona de mayor riesgo de presentar eventos de avenidas súbitas es la parte de alta montaña ,hacia la sierra nevada de Santa Marta. La curva hipsométrica muestra que la cuenca se encuentra en su fase de vejez o fase sedimentaria y los tiempos de concentración varían entre 4,26 [Hr] y 6,88 [Hr].

La península de la Guajira está caracterizada por ser la región menos lluviosa. Esta situación varía un poco en la cuenca del río Tapias, debido al relieve y ubicación frente a los vientos alisios del *noreste* (a barlovento), los cuales al absorber la humedad ambiental en la parte baja plana (por la resequedad y aridez del suelo), se encuentran con la sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá (barreras montañosas), depositando la humedad en estas áreas, la cuenca del río Tapias presenta un régimen de precipitaciones bimodal con máximos en mayo y noviembre y mínimos en febrero y julio, información sustentada en el comportamiento de los caudales medios mensuales multianuales registrados por la estación Pte Bomba. El conocimiento del régimen de precipitaciones y caudales en la cuenca del río Tapias, cobra importancia en la prevención de eventos de sequía, ya que cerca del 55% de la cuenca se encuentra deficitaria de agua según la clasificación del índice de aridez y de ella se abastece el acueducto del municipio de Riohacha, así como eventos de inundaciones debido a los sucesos a causa del fenómeno de la niña presentado en los años 2010 y 2011.

El análisis de eventos extremos en magnitud y frecuencia realizados en este proyecto, servirán para la prevención manejo y planificación del futuro ordenamiento de la cuenca, buscando la mitigación de los posibles eventos

catastróficos futuros, así como el análisis de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencias servirán de base para el diseño de infraestructuras hidráulicas y obras de prevención y mitigación en la cuenca.

4. RECOMENDACIONES

A la fecha de terminación de este proyecto de grado, ningún informe técnico realizado por la empresa ConstruSuelos de Colombia S.A.S y presentados a la interventoría y a CORPOGUAJIRA a través del Consorcio Wajira ha sido aprobado. Por lo tanto, los resultados aquí consignados están sujetos a modificaciones y podrían ser diferentes a los que serán publicados en el informe final del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del río Tapias.

Se recomienda que el IDEAM como institución de orden nacional con funciones de control y monitoreo ambiental realice una verificación de la información del SAT de La Guajira.

Se requiere la implementación de una red hidroclimatológica más densa en la región, realizando instalaciones de estaciones climatológicas principales, según clasificación del IDEAM, hacía el parque natural Sierra Nevada de Santa Marta.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE-MADS. [En línea]. Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas –POMCA. [Consultada: octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/536-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-23>.
- [2] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE-MADS. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014
- [3] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE-MADS. Decreto 1640 (2 de Agosto de 2012). Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C: El Ministerio.
- [4] CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE LA GUAJIRA -CORPOGUAJIRA, Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca Hidrográfica del río Tapias, 2011.
- [5] FONDO ADAPTACIÓN. Anexo. Alcances técnicos. Consultoría para la elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del Río Tapias (1504) localizada en el departamento de La Guajira en jurisdicción de CORPOGUAJIRA, 2014.

- [6] STRAHLER, A. N. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis Of Erosional Topography. The Geological Society Of America. 1952, vol. 63, pp. 1117-1142. DOI: 10.1130/0016-7606
- [7] HORTON, R. E. Erosional Development Of Streams And Their Drain Age Basins; Hydrophysical Approach To Quantitative Morphology. The Geological Society Of America. 1945, vol. 56, pp. 275-370.
- [8] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y DE ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Bogotá D.C.: Publicaciones IDEAM, 2013.
- [9] MONSALVE SAENZ, German. Hidrología de la ingeniería. [En línea]. Escuela Colombiana de Ingeniería. 1995. ISBN: 9589574211
- [10] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM. Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua. Bogotá D.C.: IDEAM, 2013. ISBN: 978-95-880-6762-9.
- [11] MORENO GRANDE, Fredy Alberto y ESQUIVEL KIMENEZ, Jeison Ricardo. Estudio morfométrico de la cuenca del río Azul, afluente del río Calima, Departamento del Valle del Cauca. Trabajo de grado Tecnólogo en construcciones civiles. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015. Facultad Tecnológica. Tecnología en Construcciones Civiles.

- [12] KELLER, Edward y PINTER, Nicholas. Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscapes. Segunda edición. New Jersey: Prentice Hall, 2009, p. 362. ISBN: 978-01-30-88230-1.
- [13] UDELAR-FI-IMFIA. Sistema hidrológico [En línea]. [Consulta: octubre de 2016]. Disponible en: http://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/01_Sistema_Hidrologico_2010.pdf.
- [14] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA-CORTOLIMA. Aspectos biofísicos. Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de Las Quebradas, Las Panelas y La Balsa. Ibagué: CORTOLIMA, 2005. [Consulta: octubre de 2016]. Disponible en: https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf
- [15] AGUA Y SIG. [Sitio web]. Pendiente media de una cuenca con ArcGIS [Consulta: octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.aguaysig.com/2011/06/pendiente-media-de-una-cuenca-con.html>
- [16] COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE E INSTITUTO NACIONAL DE VIAS-INVIAS. Manual de drenaje para carreteras. Bogotá D.C.: INVIAS, 2009.

- [17] ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL-OMM. Guía de prácticas hidrológicas: Hidrología – De la medición a la información hidrológica OMM-No. 168. Sexta edición. Ginebra, Suiza: OMM, 2011. ISBN: 978-92-63-30168-0.
- [18] MAIDMENT, David. Handbook of hydrology. McGraw Hill Education, 1993. ISBN-10: 0070397325
- [19] APARICIO MIJARES, Francisco Javier. Fundamentos de hidrología de superficie. Balderas, México: Editorial Mexicana, 1992. ISBN 968-18-3014-8
- [20] CASTAÑEDA, P. Zonificación climática según el modelo Caldas – Lang de la cuenca río Negro mediante el uso de sistemas de información geográfica SIG [En línea]. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. [Consultado: agosto de 2016]. Disponible en: https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72858/ESTUDIO_PARA_LA_MICROZONIFICACION_CLIMATICA_PARA_EL_MUNICIPIO_DE_SANTIAGO_DE_CALI.pdf.
- [21] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM. *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá D.C.: IDEAM, 2005.
- [22] MARTÍNEZ, C y FERNANDEZ, J. A. El régimen natural de caudales: una diversidad imprescindible, una diversidad predecible. *Invest Agrar: Sist Recur*. 2006, pp. 153-165.

- [23] NATHABANDU, R. R. y KOTTEGODA, T. Applied Statistics For Civil And Environmental. 2008.
- [24] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-WMO. Lista de términos equivalentes con sus definiciones. Glosario Hidrológico Internacional. Tercera Edición. Ginebra, Suiza: Publications Board, 2012, p. 1-391. ISBN 978-92-63-03385-8.
- [25] CAMPOS ARANDA, D. Procesos del Ciclo hidrológico, 1998.
- [26] HIJMANS, R. J., CAMERON, S. E., PARRA, J. L., JONES, P. G. y JARVIS, A. WorldClim - Global Climate Data. [En línea]. [Consultada el: 24 Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.worldclim.org/>.

BIBLIOGRAFIA

A. Mijares, Fundamentos hidrología de superficie, 1992.

A. N. Strahler, «Hypsometric (Area-Altitude) Analysis Of Erosional Topography,» *Bulletin Of The Geological Society Of America*, vol. 63, pp. 1117-1142, 1962.

AGUA Y SIG, «Pendiente media de una cuenca con ArcGIS,» 30 Junio 2011. [En línea]. Available: <http://www.aguaysig.com/2011/06/pendiente-media-de-una-cuenca-con.html>. [Último acceso: Octubre 2016].

C. & F. J. A. Martínez, «"El régimen natural de caudales: una diversidad imprescindible, una diversidad predecible". Invest Agrar: Sist Recur For Fuera de serie,» 2006.

Corporación Autónoma de la Guajira -CORPOGUAJIRA, *Plan de Ordenacion y Manejo de la cuenca Hidrografica del río Tapias*, 2011.

Corporación Autónoma del Tolima- CORTOLIMA, *Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas las panelas y la balsa*, Tolima, 2008.

D. Campos Aranda, Procesos del Ciclo hidrológico, 1998.

D. R. Maidment, Handbook of hydrology, MCGRAW HILL EDUCATION, 1993.

F. A. M. Grande y J. R. Ezquivel Jimenez, «Estudio Morfométrico de la cuenca del río Azul, Afluente del río Calima, departamento del valle del Cauca,» Bogotá, 2015. Fondo de Adaptación, «Anexo Técnico Tapias,» 2014.

G. M. Saenz, «Hidrología de la Ingeniería,» de *Hidrología de la Ingeniería*, escuela colombiana de Ing., 1995, pp. 34-49.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, «Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA,» Bogotá, D.C., 2013.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Atlas climatológico de Colombia, Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2005.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, «Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas,» Bogotá, D.C., 2013.

Instituto Nacional de Vías-INVIAS, «Manual de drenaje de carreteras,» Bogotá, 2009.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS, [En línea]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/536-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-23>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS, *Guía Técnica para la elaboración de los POMCA*, 2013.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, *Decreto 1640 de 2012*, Bogotá D.C., 2012.

N. p. Edward a. keller, «active tectonics earthquakes, uplift, and landscape,» de *active tectonics earthquakes, uplift, and landscape*, 1996, pp. 121-147.

Organización Meteorológica Mundial, «Guía de Prácticas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial OMM No. 168,» 2008.

P. Castañeda T, «Zonificación climática según el modelo Caldas – Lang de la cuenca río Negro mediante el uso de sistemas de información geográfica SIG. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.,» 2014. [En línea].

Available:

https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72858/ESTUDIO_PARA_LA_MI_CROZONIFICACION_CLIMATICA_PARA_EL_MUNICIPIO_DE_SANTIAGO_DE_CALI.pdf.

R. E. Horton, «Erosional Development Of Streams And Their Drain Age Basins; Hydrophysical Approach To Quantitative Morphology,» *Bulletin Of The Geological Society Of America*, vol. 56, pp. 275-370, 1945.

R. J. Hijmans, S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis, «WorldClim - Global Climate Data,» 24 Agosto 2016. [En línea]. Available: <http://www.worldclim.org/>.

R. R. Nathabandu T. Kottegoda, «Applied Statistics For Civil And Environmental,» 2008.

UdelaR-FI-IMFIA, «Sistema hidrológico,» Agosto 2010. [En línea]. Available: http://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/01_Sistema_Hidrologico_2010.pdf. [Último acceso: Octubre 2016].

World Meteorological Organization-WMO; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO, *Glosario hidrológico internacional*, Ginebra, Suiza, 2009.