

OFERTA Y DEMANDA HIDRICA DE LA MICROCUENCA CURPAGA PARA EL  
DISTRITO DE RIEGO INTERVEREDAL, CACOTA DE VELASCO-NORTE DE  
SANTANDER

URIEL RAMIREZ COTE

UNIVERSIDAD PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA, CIVIL Y AMBIENTAL  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
PAMPLONA  
2018

OFERTA Y DEMANDA HIDRICA DE LA MICROCUENCA CURPAGA PARA EL  
DISTRITO DE RIEGO INTERVEREDAL, CACOTA DE VELASCO-NORTE DE  
SANTANDER

URIEL RAMIREZ COTE  
1094279727

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero  
Ambiental

Directores  
PhD María Esther Rivera  
MsC Jesús Ramón Delgado Rodríguez

UNIVERSIDAD PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA, CIVIL Y AMBIENTAL  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
PAMPLONA  
2018

## **Dedicatoria**

Agradezco principalmente a Dios, por ser el inspirador y fortalecedor de mis conocimientos para continuar con este proceso y poder materializar uno de mis anhelados deseos, ser Ingeniero Ambiental.

A mi Hermana Zully Jazmin Ramirez Cote, por su amor, confianza y esfuerzo en todos estos años, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí. Tengo el orgullo de ser su hermano y el privilegio de contar con ella como mi única hermana.

A la memoria de mi mama, Consuelo Cote Camacho, quien partió desde muy temprano, pero ha cultivado en lo más profundo de mi corazón un hombre fuerte y optimista de la vida para ayudar a quien pueda.

A mi tía Noema Cote Camacho, a mis hermanos Víctor, Jeferson, Alberto y Jorge quienes son la compañía más agradable de mi vida, que me dejo mamá.

## **Agradecimientos**

Agradezco principalmente a mis directores la PhD. María Ester Rivera y el MsC. Jesús Ramon Delgado Rodríguez por confiar en mis capacidades y por guiarme en esta trayectoria para realizar mi trabajo de grado. También, al Biólogo Jose Sierra por compartir sus conocimientos para poder realizar una importante parte de mi trabajo.

Agradezco a mi pareja sentimental, Dayro Enrique Díaz Martínez por su compañía y apoyo incondicional durante toda mi carrera, por ser ese bastón de apoyo cuando los momentos más difíciles llegaban y eran difíciles de lograr.

Agradezco a mi amiga y compañera de batallas Leydis Johana Molina Carvajal, fueron cinco años en los que nos apoyamos y luchamos juntos, defendiendo nuestros logros en el transcurrir de nuestra formación, para poder estar aquí y sentir el orgullo y satisfacción del sueño cumplido.

Agradezco a mis amigos Paula Ríos, Jose Cuello y Sergio Gonzales, por ser esos hermanos que la vida te regala para generar un apoyo conjunto de responsabilidades y creencias, demostrándome que todo en la vida es posible.

Agradezco a mi amiga Yezmin Vera por generar ese puente de comunicación para la realización de mi proyecto, al señor Jairo por el acompañamiento durante todo el tiempo en el que se realizó el proyecto.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a todos los docentes de mi carrera universitaria, que se tomaron el tiempo de abrir sus puertas y para compartir y aclarar sus conocimientos conmigo.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	13
INTRODUCCION .....	14
1. GENERALIDADES DEL TRABAJO.....	16
1.1. LINEA DE INVESTIGACION.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.3. JUSTIFICACION .....	17
1.4. ANTECEDENTES .....	18
1.5. OBJETIVOS .....	22
1.1.1. Objetivo general .....	22
1.1.2. Objetivos específicos.....	22
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	23
1.1.3. Alcances.....	23
1.1.4. Limitaciones.....	23
2. MARCOS DE REFERENCIA.....	24
2.1. MARCO CONCEPTUAL .....	24
2.2. MARCO TEORICO .....	26
2.2.1. Meteorología.....	26
2.2.2. Hidrología .....	28
2.2.3. Geología.....	44
2.3. MARCO LEGAL .....	46
2.3.1. Constitución Política de Colombia, CPC.....	46
2.3.2. Tratados Internacionales .....	46
2.3.3. Leyes.....	47
2.3.4. Decretos .....	47
2.3.5. Resoluciones.....	47
2.4. MARCO CONTEXTUAL.....	48

2.4.1. Zona de Estudio .....	48
2.4.2. Descripción Hidrográfica.....	49
2.4.3. Descripción geológica.....	50
3. METODOLOGÍA.....	52
3.1. FASES METODOLÓGICAS.....	52
3.1.1. Recopilación e interpretación de la información hidrometeorológica.....	52
3.1.2. Caracterización físico-morfométricamente y reconocimiento de la zona de estudio.....	53
3.1.3. Compilación de la información de usuarios hídricos en la zona de estudio.....	54
3.1.4. Cálculo de la oferta hídrica, demanda hídrica e índice de escasez de la microcuenca Curpagá.....	55
3.1.5. Estimación de los caudales máximo y mínimo para la fuente de abastecimiento.....	57
4. RESULTADOS Y ANALISIS.....	60
4.1. VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS PRECIPITACION Y TEMPERATURA.....	60
4.2. PARAMETROS FÍSICO-MORFOMETRICOS Y RECONOCIMIENTO.....	68
4.3. INFORMACIÓN DE USUARIOS HÍDRICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	75
4.4. OFERTA HÍDRICA, DEMANDA HÍDRICA E ÍNDICE DE ESCASEZ DE LA MICROCUENCA CURPAGÁ.....	77
4.5. CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS.....	96
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS.....	102
ANEXOS.....	110

## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuacion 1 Balance hidrico general .....	29
Ecuacion 2 Balance hidrico especifico .....	29
Ecuacion 3 Caudal medio .....	31
Ecuacion 4 Indice de escasez.....	38
Ecuacion 5 ETP sin corregir.....	42
Ecuacion 6 Indice de calor mensual.....	42
Ecuacion 7 Exponente de variacion para la ETP sin corregir.....	42
Ecuacion 8 Caudal minimo.....	58
Ecuacion 9 Caudal maximo en funcion del periodo de retorno .....	58
Ecuacion 10 Caudal maximo para cuencas entre 50 y 200 Km <sup>2</sup> .....	59

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1 Precipitación total mensual multianual de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018 .....	60
Ilustración 2 Temperatura media mensual multianual de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018 .....	61
Ilustración 3 Temperatura máximo, media y mínima multianual de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018.....	62
Ilustración 4 Climograma de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018 .....	63
Ilustración 5 Evapotranspiración potencial mensual quinquenal del periodo 1989-2018. ....	63
Ilustración 6 Evapotranspiración potencial de los años 1989 y 2018. ....	64
Ilustración 7 Evapotranspiración potencial anual cada 5 años del periodo 1989-2018. ....	64
Ilustración 8 Evapotranspiración vs Precipitación, 1989 .....	65
Ilustración 9 Evapotranspiración vs Precipitación, 2018 .....	66
Ilustración 10 Balance de agua en el suelo, 1989.....	66
Ilustración 11 Balance de agua en el suelo, 2018.....	67
Ilustración 12 Balance de agua simulado para la serie de datos, 1989-2018. ....	67
Ilustración 13 Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes .....	72
Ilustración 14 Área de los tipos de suelos dentro de la zona de estudio.....	79
Ilustración 15 Áreas de la cobertura vegetal dentro de la zona de estudio. ....	80
Ilustración 16 Hietograma e hidrograma de la microcuenca Curpagá.....	83
Ilustración 17 Demanda hídrica por cada cultivo dentro de la microcuenca Curpagá ...	94



## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1 Ubicación de la quebrada Curpagá dentro del municipio de Cécota.....	49
Imagen 2 Hidrografía de la Zona de Estudio.....	50
Imagen 3 Geología de la zona de estudio.....	51
Imagen 4 Fotografías de la zona de estudio.....	73
Imagen 5 Cambios en la zona de estudio.....	73
Imagen 6 Cambios en la zona de estudio.....	74
Imagen 7 Veredas existentes en el municipio de Cacota.....	75
Imagen 8 Cultivos dentro de la zona de estudio.....	76
Imagen 9 Cobertura de la tierra en la zona de estudio.....	78
Imagen 10 Fotografías de la cobertura dentro de la zona de estudio.....	78
Imagen 11 Tipos de suelos dentro de la zona de estudio.....	79
Imagen 12 Resultados de la simulación para la obtención del caudal pico descargado y el volumen de agua almacenado.....	82
Imagen 13 Recolección de macroinvertebrados en la microcuenca Curpagá.....	84
Imagen 14 Identificación de macroinvertebrados de la microcuenca Curpagá.....	85
Imagen 15 Identificación de macroinvertebrados de la microcuenca Curpagá.....	85

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Índices de Zonificación Climática. ....	28
Tabla 2 Grupos hidrológicos del suelo .....	32
Tabla 3 Clasificación hidrológica por grupos de suelo .....	33
Tabla 4 Condición hidrológica del suelo.....	34
Tabla 5 Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad antecedente .....	34
Tabla 6 Metodologías para el descuento de caudal ecológico.....	35
Tabla 7 Escenarios para el cálculo de la demanda hídrica. ....	37
Tabla 8 Categorías para el índice de escasez. ....	38
Tabla 9 Parámetros físico-morfométricos.....	41
Tabla 10 Número máximo de horas de sol.....	42
Tabla 11 Factor de corrección f, por duración de las horas de sol expresadas en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una.....	43
Tabla 12 Estación cercana a la zona de estudio. ....	53
Tabla 13 Categorías y preguntas de la información recolectada en campo. ....	55
Tabla 14 Valores del Coeficiente a.....	58
Tabla 15 Resultados de los parámetros físico-morfométricos de la microcuenca Curpagá. .....	71
Tabla 16 Determinación del número de curva para la zona de estudio.....	81
Tabla 17 Numero de curva ponderado para la microcuenca Curpagá. ....	82
Tabla 18 Oferta hídrica superficial de la microcuenca Curpagá.....	84
Tabla 19 Identificación y descripción de los macroinvertebrados encontrados en la microcuenca Curpagá .....	87
Tabla 20 Puntaje de las familias de macroinvertebrados por el IBMWP/Col.....	88
Tabla 21 Resultados de los parámetros físicos químicos y microbiológicos de la Quebrada Curpagá.....	89
Tabla 22 Resultado de descuento por calidad del agua.....	90
Tabla 23 Resultado de descuento por calidad del agua.....	91
Tabla 24 Resulta de la oferta hídrica neta de la microcuenca Curpagá.....	91

Tabla 25 Coeficientes de cultivo para los cultivos encontrados en la microcuenca Curpagá. ....	93
Tabla 26 Área total de los cultivos dentro de la microcuenca Curpagá.....	94
Tabla 27 Estimación de la demanda neta para la microcuenca Curpagá .....	95
Tabla 28 Índice de escasez para la microcuenca Curpagá.....	95
Tabla 29 Caudal mínimo o ecológico de la quebrada Curpagá.....	96
Tabla 30 Caudales máximos en diferentes periodos de retorno para la quebrada Curpagá. ....	97

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Información de precipitación solicitada al IDEAM .....	110
Anexo 2 Información de temperatura descargada del satélite NASA GEOVANNI .....	110
Anexo 3 Temperatura vs Precipitación, año 1989.....	111
Anexo 4 Temperatura vs Precipitación, año 1994.....	111
Anexo 5 Temperatura vs Precipitación, año 1999.....	112
Anexo 6 Temperatura vs Precipitación, año 2004.....	112
Anexo 7 Temperatura vs Precipitación, año 2009.....	113
Anexo 8 Temperatura vs Precipitación, año 2014.....	113
Anexo 9 Temperatura vs Precipitación, año 2018.....	114
Anexo 10 Temperatura 1989 vs Temperatura 2018.....	114
Anexo 11 Evapotranspiración mensual multianual en un periodo quinquenal .....	115
Anexo 12 Evapotranspiración vs Precipitación, 1994.....	115
Anexo 13 Evapotranspiración vs Precipitación, 1999.....	116
Anexo 14 Evapotranspiración vs Precipitación, 2004.....	116
Anexo 15 Evapotranspiración vs Precipitación, 2009.....	117
Anexo 16 Evapotranspiración vs Precipitación, 2014.....	117
Anexo 17 Densidad de drenaje relacionada con la topografía .....	118
Anexo 18 Información del usuario hídrico .....	119
Anexo 19 Mapa del IDEAM para el IRH.....	120
Anexo 20 Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el IBMW/Col .....	121
Anexo 21 Valoración y determinación de la calidad del agua .....	121

## RESUMEN

Los estudios hidrológicos recurren a la información de otras disciplinas como la climatología, la geología y la política ambiental para poder establecer el potencial de abastecimiento de un cuerpo hídrico superficial, subsuperficial o subterráneo. Este proyecto estudió la oferta y demanda hídrica de la microcuenca Curpagá en Cacota-Norte de Santander por el método de Numero de Curva (CN) del SCS descrita en la Resolución 0865/2004, la cual es una fuente de abastecimiento con fines agropecuarios para el distrito de riego interveredal ASOCACOTA. Para ello, se recopiló e interpretó la relación de información hidrometeorológica para un periodo de 30 años (1989-2018) de las variables climatológicas precipitación y temperatura, se calculó la evapotranspiración potencial y real. Después, se obtuvo el balance de agua en el suelo, todo bajo la metodología propuesta por Thornthwaite. Luego, se determinaron los parámetros físico-morfométricos a partir de un procesamiento de imágenes satelitales con un tratamiento digital en ArcGIS. Posteriormente, se compiló información los usuarios del recurso hídrico adscritos en la asociación del distrito de riego a través de una entrevista informal, se calculó índice de escasez, la estimación de los caudales máximos y mínimos. Como resultado se obtuvo la zona de estudio es una microcuenca, con una red de drenaje de tipo abanico con potencial erosivo en condiciones extremas de precipitación; con el incremento de la temperatura y los desplazamientos de las épocas de lluvia generaron la necesidad de captación para el riego de cultivos en la zona. El caudal ecológico estimado es de 54,78 l/s y los caudales máximos por escorrentía directa para los periodos de 25 y 50 años son 23329,58 y 32220,14 l/s respectivamente. El valor medio de CN para la microcuenca es de 49, generando una oferta total de 31688431,8 m<sup>3</sup>, a la cual se le aplicó un porcentaje de descuento del 35% por calidad de agua y caudal ecológico, siendo la oferta neta disponible de 20597480,67 m<sup>3</sup> con una demanda de 6787621,34 m<sup>3</sup> y con un índice de escasez de 11,53%, ubicando a la microcuenca en un grado medio de presión sobre el recurso hídrico y cumpliendo con el caudal mínimo ecológico.

**Palabras Clave:** Oferta hídrica, Demanda hídrica, Índice de escasez, Número de curva.

## INTRODUCCION

De acuerdo con el Sistema Ambiental de Colombia (SIAC), en el país solo el 62% de la precipitación anual se convierte en escorrentía y, de este el 50% se consume solo para uso agrícola, es decir, en cuerpo de agua superficial con un flujo de 120 l/s se consumen solo para uso agrícola 60 l/s, el restante es para cubrir otros consumos como el doméstico, industrial, de servicios y para la conservación del grupo ecológico que se encuentre dentro la divisoria que encierra este cuerpo de agua. Sin embargo, para el beneficio de todos y la creación de un desarrollo sostenible, el gobierno nacional deroga obligación sobre entidades departamentales que ejerzan la acción de control y conservación de los servicios ecológicos que ofrece el medio ambiente.

En Norte de Santander, la Corporación Autónoma del Nororiente Colombiano (CORPONOR) tiene como objetivo principal encausar y consolidar las normas nacionales junto con algunas funciones de administración de los recursos naturales que se le asignen, para fomentar la protección de los recursos naturales. De esta manera, año tras año se generan planes de acción y actividades de impacto que promuevan sobre la población beneficiada responsabilidades verdes (ecológicas).

Mutiscua, Silos y Cágota de Velasco son municipios del departamento Norte de Santander de gran vocación y crecimiento agrícola. Sin embargo, cuando estas actividades incrementan su producción, generan la necesidad de aumentar el volumen de agua para el riego de los cultivos, mediante un sistema hidráulico. Por lo tanto, el permiso para la captación de agua del cuerpo hídrico superficial se hace ante la autoridad competente, que en este caso es CORPONOR.

Particularmente, en Cacota de Velasco para el año 2009 se crea la segunda asociación agricultora, el distrito de riego interveredal de pequeños agricultores del municipio de Cacota, también conocida como ASOCACOTA. En la actualidad, el distrito cuenta con un permiso para la captación y aprovechamiento del agua y, de acuerdo a la concesión otorgada por CORPONOR bajo la Resolución 067 del 16 Julio del 2009, se captan 62 l/s del Rio Cacota.

La importancia de este estudio, se enfoca en la evaluación sobre la capacidad actual de la fuente hídrica para abastecer las necesidades presentes y futuras de los agricultores, siguiendo las normas colombianas dirigidas al cuidado y conservación de la flora y fauna. Además, este proyecto incluye la búsqueda y obtención de información climatológica con una serie histórica de 30 años de la estación CACOTA código 37010030, cálculos de pérdidas de agua por evapotranspiración, balance de agua en suelo, identificación y caracterización físico-morfométrica de la microcuenca, la capacidad de abastecimiento (oferta), la necesidad de consumo (demanda) y los niveles máximos y mínimos del flujo hídrico.

Dentro de este estudio encontrarán, el problema de estudio y la justificación, las consultas de estudios a nivel internacional, nacional regional y local. Así como, el alcance y las limitaciones del estudio, los marcos conceptual, teórico, legal y contextual. También, todas las fases metodológicas, resultados y análisis. Por último, las conclusiones y recomendaciones. Además de esto, contarán con un apartado de anexos donde se encuentra gran parte de evidencia para este trabajo.

## **1. GENERALIDADES DEL TRABAJO**

### **1.1. LINEA DE INVESTIGACION**

Las áreas de investigación que se abordan en este trabajo son Cuenca, Paleoambiente, Meteorología, Hidrología, Suelo, Geotecnia, Simulación y Modelación del Recurso Hídrico. Las cuales permiten la formación de un área multidisciplinar para el desarrollo efectivo de este trabajo.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el año 2009 se presentó ante la Corporación Autónoma del Nororiente Colombiano (CORPONOR) la solicitud para la concesión de aguas con fines agrícolas por parte de la Asociación de Pequeños Agricultores "ASOCACOTA" del municipio de Cacota, para beneficio de las veredas de Alizal, Don Juan, El Uvito, Icóta y Escalones, las cuales hacen parte de la cuenca media y baja del Rio Cacota. Para ello, se planeó captar el agua metros abajo de la unión de las quebradas El Oso, Árbol Solo y La Asonada las cuales se forman en la parte alta de la vereda Curpagá. Para la fecha no existían obras hidráulicas, solo un estudio y una propuesta para la construcción del distrito.

En la actualidad, la microcuenca presenta alteraciones naturales como, la tala de árboles, el incremento de las zonas de pastoreo, la invasión de plantas foráneas y la migración de especies animales, todo esto ha originado una reducción del volumen de aproximadamente la mitad de volumen de agua inicial. Por otra parte, se han encontrado residuos sólidos como envolturas de alimentos, latas y botellas de plásticos, también se han presentado cambios en el uso de las tierras cultivando diferentes frutas y vegetales o para pastoreo de bovinos, equinos y demás, provocando un incremento en el consumo del recurso y limitando con rapidez su oferta. Todas estas acciones ocasionan alteraciones del paisaje, que llevan a plantear los siguientes interrogantes. ¿El comportamiento actual de los caudales y su uso en la microcuenca Curpagá garantizan



el objetivo principal contemplado en la Ley 373 de 1997? ¿Se conoce las variaciones de la oferta y demanda hídrica de la quebrada Curpagá con respecto a las condiciones iniciales de la solicitud de la concesión?

### **1.3. JUSTIFICACION**

Para otorgar el permiso de captación de aguas superficiales, CORPORNOR exigió el estudio completo del sistema de acueducto, el estudio hidrológico de la cuenca, el cual debe contener el cálculo del índice de escasez de acuerdo con la metodología citada en la Resolución 865 del 2004 surgida a partir del Decreto 155 del 2004, el Programa de Uso y Ahorro Eficiente del Agua-PUEAA exigido por la Ley 373 de 1997 y Plan de desarrollo para la reforestación de la cuenca.

Por lo tanto, la importancia de conocer los caudales de oferta y demanda hídrica de la microcuenca Curpagá, en épocas de estiaje crean una herramienta elemental para limitar su uso como fuente superficial de abastecimiento de agua para varias comunidades rurales de la parte media y baja de Cacota. De esta manera, las veredas Alisal, Fernandaria Don Juan, El Uvito, Escalones e Icota son áreas de cultivos frutales y vegetales que durante los últimos años han expandido sus cultivos, razón por la cual el uso del recurso hídrico ha incrementado. En este sentido, es trascendente realizar estudios sobre la quebrada que aporten una solución conjunta y en miras del desarrollo sostenible.

Por otra parte, dentro de la misión de las autoridades ambientales se encuentra el control sobre el uso del recurso hídrico, por tanto, fue deber de la asociación la contratación de un diseñador que cumpliera con un sistema eficiente y que realizara la revisión adecuada de los caudales necesarios para el abastecimiento de la población sin que esto afectara el ambiente local, sin embargo, actualmente se presentan problemas sobre el ecosistema y otros relacionados al funcionamiento hidráulico del sistema de acueducto.

#### 1.4. ANTECEDENTES

El incremento poblacional es la principal razón de los grandes problemas medioambientales que se presentan actualmente en todo el mundo, un ejemplo de estos es la necesidad de expandir las tierras agrícolas con el fin de satisfacer la necesidad de alimentos para todos, los cuales a su vez provocan un incremento en el consumo de agua y efectos negativos sobre el cambio climático, en este sentido Guo y Yanjun (2016) a través de su artículo “Cambios en la oferta / demanda de agua agrícola en el futuro cambio climático previsto en la región árida del noroeste de China” predijeron las posibles tendencias climáticas futuras basadas en simulaciones de CMIP5, con el único propósito de estimar la disponibilidad y la demanda agrícola de agua en los futuros escenarios de cambio climático.

Por otra parte, Duan (2019) y Caldwell, Sun, McNulty et al (2019) desarrollaron una investigación titulada “Entender el papel de la conectividad regional del agua en la mitigación de los impactos del cambio climático en el estrés del suministro de agua superficial en los Estados Unidos”, con el fin de presentar un marco integrador de simulación y evaluación que incorpora las conexiones de agua naturales y antropogénicas (es decir, flujos de agua, transferencias de agua entre cuencas, extracciones de agua y flujos de retorno ) entre las cuencas hidrográficas del Código de Unidad Hidrológica (HUC-8) de 2009 a través de los estados unidos de Estados Unidos, se investigaron los cambios potenciales de los cambios de clima y el uso del agua en la disponibilidad regional de agua y el estrés hídrico (la relación entre la demanda y el suministro ), finalmente las proyecciones mostraron que las áreas con estrés hídrico aumentarían del 19% al 24% para el periodo 2070-2099, sin embargo, prácticas de mitigación del cambio climático podrían compensar la demanda y mejorar la oferta pero, los cambios perjudiciales en el futuro pueden agravar los conflictos sobre los derechos de agua entre las regiones.

Otro estudio realizado en Shenzhen-China por Tianhonga, Songnana y Mingxin (2018), titulado “Simulación y optimización del equilibrio entre la oferta y la demanda de agua en Shenzhen: un enfoque de dinámica de sistemas” muestra el problema al cual se enfrenta

la ciudad de equilibrar la oferta y la demanda de agua para todo el sector de expansión urbana. Los Ramirez Ces construyeron un modelo dinámico de sistemas para investigar las complejas interacciones a lo largo del ciclo del agua dentro de los sistemas socioeconómicos y ecológico, la simulación de la oferta y la demanda se realizó entre el periodo 2015-2030 obteniendo como respuesta conjunta en los diferentes escenarios que, la oferta y la demanda de agua en Shenzhen disminuirán de manera constante en los próximos años, lo que indica una grave escasez del recurso hídrico. Además, se determinaron seis parámetros con mayor influencia en el suministro y la demanda de agua en Shenzhen basados en un análisis de sensibilidad.

A nivel nacional, a través del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible junto con el IDEAM y con el apoyo de la embajada de Suiza en Colombia, presentan anualmente el reporte de avance del Estudio Nacional del Agua-ENA cuya última versión se presentó el 2018. Este reporte establece que Colombia tiene el 5% de los 43.764 Km<sup>3</sup> de agua por año que tiene el mundo; sin embargo, esta riqueza del país no se reparte equitativamente en el espacio y tiempo ya que, para un año húmedo aumenta en un 92% alcanzando los 3420mm, para un año promedio es estable en los 1775mm pero, para un año seco se reduce hasta un 53% aproximándose a los 841mm, razón por la cual existen regiones susceptibles a desabastecimiento del preciado recurso, por consecuencia se realizan estudios hidrológicos como balances hídricos (oferta y demanda) que ayuden a la implementación de estrategias que permitan mitigar las actuales causas garantizando el agua a futuro.

Betancourt y Garnica (2017) de la Universidad Católica de Colombia presentaron un trabajo investigativo sobre la disponibilidad actual del recurso hídrico en los principales afluentes (Aves, Chipatá y Siecha) que abastecen la cuenca del embalse Tominé (Cundinamarca), empleando las metodologías del ENA y el estudio de la evapotranspiración del cultivo de la FAO. Finalmente, se logró concluir que las actividades agrícolas son las que ejercen mayor presión sobre la cuenca y que la demanda actual afecta de manera significativa la disponibilidad hídrica, así mismo el análisis hidrológico permitió inferir que si la cuenca presentara escasez a mediano plazo si las condiciones socioambientales imperantes en el área se mantienen.

De modo similar, Díaz y Alarcón (2018) de la Universidad Católica de Colombia desarrollaron proyecto titulado “Estudio Hidrológico y Balance Hídrico para Determinar la Oferta y la Demanda de Agua de la Cuenca de la quebrada Niscota para un Acueducto Interveredal en Nunchía, Casanare”, con el fin de conocer su uso potencial como fuente abastecedora de agua para un acueducto que beneficie seis veredas de la parte baja del municipio de Nunchia en el departamento de Casanare, evaluando la oferta hídrica bajo la Resolución 0865 de 2004 del Ministerio de Ambiente Colombiano, y buscando la información necesario como demografía, meteorología y geología, finalmente y con ayuda de softwares que permiten la simulación de caudales máximos y minios se logra concluir que la cuenca de la quebrada Niscota no experimentaría presiones si esta fuese usada como la fuente abastecedora ya que hasta en la época del año el agua que escurre por el cauce principal es suficiente para abastecer el proyecto y las biota presente.

Así como se presentan estos estudios en dos departamentos del territorio colombiano (Cundimarca y Casanare) existen investigaciones equivalentes, por ejemplo, en el departamento Norte de Santander reconocido por presentar zonas con gran variedad de climas espacialmente, pero que en las últimas tres décadas las zonas más frías han incrementado su temperatura promedio provocando que las flora y fauna presente migre hacia otros territorios para lograr la subsistencia.

López y Quintero (2014) de la Universidad Francisco de Paula Santander-Ocaña prestaron un estudio título “Oferta y Demanda Hídrica de la Microcuenca Juan Sánchez del Municipio de Ocaña, Norte de Santander”, el estudio que se realizó en parte alta, media y baja microcuenca Juan Sánchez, tenía como finalidad realizar una análisis morfométrico y un balance hídrico de la misma, quienes seguidamente de recolectar y procesar la información concluyeron que el consumo por parte de la población asentada en la microcuenca es muy bajo en comparación con la oferta de la misma determinando que su índice de escasez es cerca del 10% y por ende la zona sule todas las necesidades hídricas actuales y futuras.

Posteriormente, Criado e Illeras (2016) de la Universidad Francisco de Paula Santander-Ocaña desarrollaron una investigación titúlala “Modelación Hidrológica de la Cuenca del Rio Algodonal, tomando como punto de cierre la ubicación geográfica del predio de la

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, haciendo uso de herramientas computacionales”, la ubicación de la zona de estudio se escoge por ser el afluente hídrico más importante de la provincia de Ocaña ya que abastece la mayor parte de la comunidad para el consumo del preciado líquido y para el riego de cultivos en la zona, queriendo así representar el sistema biofísico de la cuenca y la alteración ocasionada por el hombre, simulando la respuesta hidrológica bajo diferentes escenarios de gestión o intervención, finalmente los autores lograron concluir que la disponibilidad del recurso procedente del Rio Algodonal aproximadamente llegara hasta el 2035, y que la cuenca se encuentra en estado de deterioro por acciones como captaciones ilegales, extracción de materiales de arrastre, tala indiscriminada de árboles, entre otras acciones; aclarando que se debe realizar una intervención rápida y efectiva para poder recuperar el ecosistema en grado de peligro.

Para efectos del presente estudio que se desarrolla en el territorio colombiano, limitándose al departamento Norte de Santander, y más específicamente en el municipio de Cacota, el cual es reconocido por ser uno de los municipios con grandes extensiones de prácticas agrícolas, pero que a causa de ello se generan incrementos en los consumos de servicios ambientales y donde la cultura ambientalista de los campesinos es irrespetuosa con el ecosistema presente. Para el año 2009 en el municipio se creó la Asociación de pequeños agricultores ASOCACOTA, la cual comprendía cinco de las veredas pertenecientes al municipio y cuyo propósito fue solicitar el permiso para la obtención de una cantidad específica de agua de la quebrada Curpagá como fuente de abastecimiento para el riego de sus cultivos, por consiguiente y para efectos positivos del permiso se realizó un estudio técnico que comprende todos los requerimientos ambientales, técnicos y legales, que afirma bajo el análisis de toda la información recolectada que la quebrada Curpagá satisface el caudal solicitado como captación y que las condiciones de la biodiversidad no serán afectadas.

Por otra parte, la Alcaldía municipal de Cacota ha presentado datos de interés dentro de sus planes de desarrollo como balances hidrológicos del Rio Cacota para el periodo de gobierno de 2004 a 2007, adicionalmente sobre la zona de evaluación se desarrolló un estudio por parte de la Agencia Nacional de Infraestructura-ANI, este estudio es de

enfoque hidrológico y comprendía cuatro estaciones meteorológicas dentro de las cuales se encuentra la estación Cacota, y se realizó para la presentación del informe en la construcción del corredor 3 (Tramo Pamplona-Cúcuta).

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar la oferta y demanda hídrica de la microcuenca Curpagá para el distrito de riego interveredal en Cacota de Velasco, Norte de Santander

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Recopilar e interpretar la información hidrometeorológica de las estaciones aledañas a la zona de estudio

Caracterizar físico-morfométricamente la zona de estudio

Compilar la información de los usuarios hídricos en la zona de estudio

Calcular la oferta y la demanda hídrica de la microcuenca Curpagá

Estimar los caudales máximo y mínimo para la fuente de abastecimiento

## **1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.1.3. Alcances**

El presente estudio explora la capacidad de la quebrada Curpagá, para abastecer las necesidades de la asociación de pequeños agricultores ASOCACOTA, para el riego de sus cultivos, teniendo en cuenta las normas para la protección de los recursos naturales. Es decir, llega únicamente hasta los cálculos de oferta hídrica de la quebrada Curpagá y la demanda por uso agrícola de los usuarios adscritos a ASOCACOTA.

### **1.1.4. Limitaciones**

La falta de registros hidroclimatológicos dentro de la zona de estudio,

La disponibilidad de los usuarios del recurso hídrico, acotando el porcentaje de información para el cálculo de la demanda.

Los recursos financieros con los que cuenta el investigador, para el desplazamiento a la zona de estudio y para el cubrimiento de gastos en insumos y laboratorios.

## **2. MARCOS DE REFERENCIA**

### **2.1. MARCO CONCEPTUAL**

De acuerdo con Rodríguez et al (2004) la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros, y basados en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo se define como Meteorología, sin embargo para canaltiempos21 (2010) describe en su diccionario la Meteorología como la ciencia que estudia la atmósfera, comprende el estudio del tiempo y el clima y se ocupa del estudio físico, dinámico y químico de la atmósfera terrestre.

La Hidrología para Ospino (1999), es la ciencia que estudia las agua naturales, su ocurrencia, circulación y distribución y los fenómenos y procesos que transcurren en la hidrosfera. Según el objeto de su estudio se subdivide en oceanología, hidrología de tierra firme o limnología. En cada caso estudia el régimen y el balance hídrico, la dinámica del agua, los preceos termales y las substancias agregadas, posteriormente Villon (2002) definió la hidrología como la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Para Villon (2002), la Cuenca Hidrográfica es un terreno donde las agua caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. Por otra parte, existe una escala menor a esta conocida como Microcuenca definida como un área de drenaje que conjunta sus escurrimientos en un cauce común llamada corriente principal. Una microcuenca puede abarcar desde unos cuantos cientos de hectáreas hasta unas cinco mil (Sanchez, Garcia, & Palma, 2003).

De acuerdo con Ospino (1999) aforar es realizar una medición de la cantidad de agua que lleva una corriente y que pasa a través de una sección determinada en una unidad



de tiempo, sin embargo, para Villon (2002), aforar una corriente, significa determinar a través de mediciones, el caudal que pasa por una sección dada y en un momento dado. En conclusión, aforar es determinar con mediciones el gasto que pasa por una sección dada.

Caudal, se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Villón, 2002).

La representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico, en un lugar dado de la corriente es definida por Villon (2002), como Hidrogramas. Sin embargo, para Winter (2000) un Hidrograma proporciona una vista de la cabeza hidráulica a lo largo del tiempo en un punto del espacio, y los mapas de una superficie potenciométrica o secciones hidrológicas que brindan una vista de la cabeza hidráulica sobre el espacio en un punto en el tiempo.

Según Ospino (1999) un Hietograma es un gráfico que representa la distribución de la precipitación o su intensidad en el tiempo durante una tormenta. Representación cartesiana cuyas abscisas son el tiempo y las ordenadas las intensidades de precipitación, sin embargo, Villon (2002), define el Hietograma como un gráfico de forma escalonada el cual representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de la tormenta, en el transcurso de esta expresada en minutos u horas, finalmente para Román (2013), un Hietograma es sencillamente un gráfico que expresa la precipitación recogida en intervalos de tiempo.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general. (IDEAM, 2014)

La Evapotranspiración según Rico (2008) es la acción conjunta de evaporación del agua y de transpiración por la acción biológica de las plantas. Pérdida de agua de la vegetación y de la superficie del suelo hacia la atmósfera en forma de vapor de agua.

## **2.2. MARCO TEORICO**

### **2.2.1. Meteorología**

#### Temperatura

Para Agueda, y otros,( 2004), la temperatura es conocida como una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. Por esta razón la información meteorológica que aparece en los medios de comunicación o en las plataformas de institutos de estudios climatológicos casi siempre incluye un apartado dedicado a las temperaturas: sabemos que la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra.

#### Precipitación

Una nube puede estar formada por una gran cantidad de gotitas minúsculas y cristalitos de hielo, procedentes del cambio de estado del vapor de agua de una masa de aire que, al ascender en la atmósfera, se enfría hasta llegar a la saturación (Agueda, y otros, 2004). Cuando esta ocurre las minúsculas gotitas se juntan y llegan al suelo en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo, a este comportamiento climático se le conoce como precipitación.

En el espacio y tiempo la precipitación se mide en milímetro mediante instrumentos como pluviómetros y pluviógrafos, los cuales miden y grafican las cantidades de precipitación caídas sobre una superficie. De esta manera, decir que llovió un milímetro significa que cayó un litro de agua por cada metro cuadrado de terreno (IDEAM, 2014).

#### Brillo Solar

El brillo solar es un elemento meteorológico importante en casi todas las formas de actividad y empresas humanas. Sectores como el agrícola, forestal, turismo,

construcción, deportes y energía, dependen y planifican aspectos del cumplimiento de sus programas y actividades futuras sobre la perspectiva de disponer de suficiente horas de brillo solar durante el día (ETESA, 2009).

Para ETESA (2009), el conocimiento adecuado del régimen de brillo solar permite, estimar características cuantitativas de la nubosidad y radiación solar de forma que se pueda tener una idea sobre la disponibilidad luz del sol para el aprovechamiento de la energía solar en el país. Además, se ha creado un instrumento que permite medir la duración del brillo solar.

### Mapas de Isoyetas e Isotérmicos

Determinar la temperatura y precipitación promedio de una zona resulta difícil con realizar solo una medición, por eso se han desarrollado mapas de contorno de acuerdo con alturas o de acuerdo con la relación de diferentes puntos en una misma zona. En un plano cartográfico, un mapa de isoyetas o isotérmico es una curva que une aquellos puntos que presentan los mismo valores registrados en una unidad de tiempo considerada (Ucha, 2011). De esta manera, para una misma área se diseñan planos que contengan isoyetas o isothermas, por ejemplo, isothermas de una temperatura media de largo período de o las isothermas de las temperaturas medias anuales.

En Colombia, el IDEAM en el 2008 desarrollo junto a otras instituciones el mapa de Zonificación Climática a nivel nacional con escala 1:500.000 e implementado una tabla para la lectura del mapa. En la tabla se relaciona de acuerdo con el color el promedio de precipitación por año y el subclima, con relación a la temperatura media anual se define la altura media del piso térmico y el clima. La tabla 1 propuesta por el IDEAM para clasificación por índices de Zonificación Climatológica está relacionada por la clasificación climatológica propuesta por Caldas Lang (1962), Lang (1971) y Köppen (1981)

PISO TÉRMICO (msnm)	CLIMA	TEMPERATURA (°C)	SUBCLIMA	PRECIPITACIÓN (mm/año)
0-800	Cálidos	> 24	Árido	0-500
			Muy Seco	501-1000
			Seco	1001-2000
			Húmedo	2001-3000
			Muy Húmedo	3001-7000
			Pluvial	>7001
800 - 1800	Templados	Entre 18 y 24	Muy Seco	501-1000
			Seco	1001-2000
			Húmedo	2001-3000
			Muy Húmedo	3001-7000
			Pluvial	>7001
1800 - 2800	Fríos	Entre 12 y 18	Muy Seco	501-1000
			Seco	1001-2000
			Húmedo	2001-3000
			Muy Húmedo	3001-7000
2800 - 3700	Muy Fríos	Entre 6 y 12	Muy Seco	501-1000
			Seco	1001-2000
			Húmedo	2001-3000
			Muy Húmedo	3001-7000
3700 - 4500	Extremadamente Fríos	Entre 1,5 y 6	Muy Seco	501-1000
			Seco	1001-2000
			Húmedo	2001-3000
			Muy Húmedo	3001-7000
> 4500	Nivales	< 1,5	Muy Seco	501-1000
			Seco	1001-2000

**Tabla 1** Índices de Zonificación Climática.

**Fuente:** IDEAM, (2008)

## 2.2.2. Hidrología

### Oferta Hídrica

De acuerdo a la Resolución 0865 del 2004, la oferta hídrica de una cuenca, es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Así, para calcular la oferta hídrica superficial se debe establecer un conocimiento del caudal del río. Sin embargo, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de su valor total. Para los efectos de calcular la oferta hídrica en una cuenca hidrográfica, se aplicará según cada caso, las siguientes metodologías de acuerdo con la información disponible y características físicas de la cuenca.

➤ *Balance Hídrico*

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en el principio de la conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad. En general, la técnica de balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos del agua; sin embargo, algunas mediciones se eliminan en función del volumen y periodo de tiempo utilizados para el cálculo del balance (Chapman, 1981).

Por tanto, el balance hidrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma mas general, vendra representado por las Ecuaciones 1 y 2.

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} - \text{Cambio en el almacenamiento} = 0 \quad \text{Ec. 1}$$

$$P + Q_{Si} + Q_{Ui} - E - Q_{So} - Q_{Uo} - \Delta S - V = 0 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde, P- Precipitacion,  $Q_{Si}$  - Caudal Superficial de Entrada,  $Q_{Ui}$  - Caudal subterráneo de Entrada, E- Evaporacion,  $Q_{So}$ -Caudal Superficial de Salida,  $Q_{Uo}$ -Caudal Subterráneo de Salida,  $\Delta S$ - Volumen de Agua Almacenada y V- error .

El balance hidrico de una microcuenca es esencial para la determinacion del estado actual del afluente y su capacidad de abastecimiento a las poblaciones cercanas que se veran favorecidas con el recurso, desde una posición teorica el analisis permite realizar juicios para el uso del afluente y conseguir el uso mas razonado del mismo en espacio y tiempo con la ayuda de obras hidraulicas para la captación. (Alarcon, 2018), por esta razon el balance hidrico suministra informacion sobre la capacidad del afluente y los meses del año en los cuales aumenta su caudal o por el contrario lo disminuye. Por otra parte, permite la construccion de predicciones hidrológicas basadas en la solicitud de datos registrados por estaciones meteorológicas cercanas al area de estudio a la entidad encargada IDEAM.

El calculo para el balance hidrico de una cuenca y sus componentes son numerables, debido que, en algunas metodologias no se tienen en cuenta las características naturales del medion y la variaciones en el espacio y tiempo, sin embargo y de manera general se plantea una ecuacion del balance hidrico pero “la técnica del balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos de agua: sin embargo,

algunas mediciones se eliminan en función del volumen y periodo de tiempo utilizados para el cálculo del balance” UNESCO (1974), es decir, se reducirá en una sola ecuación para su forma más general y a partir de ello y de su complejidad podrá ampliarse o reducirse.

De acuerdo con Ordoñez (2011) los componentes de la ecuación del balance hídrico requieren de información medida en campo y calculada a partir de datos, algunos de los métodos de cálculo de balance hídrico para cada componente son: Precipitación (medida, corrección de la precipitación, precipitación media de la zona y algunas características especiales), Caudales (escorrentía media y selección del periodo del balance hídrico y caudal medio con datos directos), Evaporación de agua superficial (evaporímetro, balance térmico, aerodinámico, formulas empíricas y plantas acuáticas), Evaporación desde tierra (evaporímetros y lisímetros, balance térmico, aerodinámico, formula empíricas y métodos usados en la URSS), Evaporación total (mapas de evaporación), y por último, el Volumen de agua almacenada (agua en micro depresiones, agua en estado sólido, agua en lagos y embalses, agua en el cauce, humedad en el suelo y agua subterráneas).

En la actualidad se cuenta con herramientas computacionales como los sistemas de informaciones geográfica entre estos se encuentran QGIS, ArcGIS y otros, que permiten la elaboración mapas espaciotemporales de las diferentes variables climatológicas con datos reales, permitiendo calcular valores medios de precipitación, evaporación y escorrentía para áreas específicas que, junto a la morfometría de la cuenca, proporcionan lineamientos bases para la obtención del resultado final (balance hídrico).

➤ *Caudal medio puntual*

De acuerdo con el IDEAM (2018), para conocer el caudal disponible de utilización en una corriente, es necesario conocer con qué frecuencia ocurren caudales iguales o superiores de un valor determinado, (caudal medio).

$$Q = 1/n \sum_{i=1}^n (Q_i) \quad \text{Ecu. 3}$$

Donde, Q - Es el caudal medio,  $Q_i$  - Caudal medido en el período de estudio, n - Número total de datos de caudal (suficientemente grande).

Sin embargo, este método establece una curva de duración de caudales a partir de la reducción de los datos con solo caudales máximos y caudales mínimos. La curva de duración de caudales medios diarios, permite observar la variabilidad de dichos caudales en el tiempo, con lo cual se puede tener un mejor conocimiento en el manejo de la disponibilidad del agua y explicar igualmente la relación demanda – oferta, sobre un presupuesto de decisión para almacenar un determinado volumen de agua que podría ser aprovechado en las épocas de estiaje (Unesco, 1981).

➤ *Relación lluvia-escorrentía*

La escorrentía está compuesta por la escorrentía superficial y la escorrentía subterránea (flujo base). Sin embargo, la dificultad de determinar la escorrentía subterránea obliga a aproximar el término escorrentía total con la relación lluvia-evapotranspiración real (ETR). De esta manera, la Resolución 855 del 2004 menciona que: “Al cuantificar la escorrentía superficial a partir del balance hídrico de la cuenca, se está estimando la oferta de agua superficial de la misma”. En este sentido, la UNESCO recomienda un método para el cálculo de la escorrentía, afirmando que a partir de los parámetros observados directamente como la precipitación y la escorrentía que, mediante la aplicación de una ecuación simple de balance hídrico simplificada, se obtienen los valores medios de ETR para las cuencas hidrográficas o regiones de interés.

Sin embargo, para relacionar la escorrentía a partir de un evento de lluvia el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (en su sigla en inglés Soil Conservation Service - SCS) desarrolló un método que prácticamente consiste en calcular un hidrograma a partir de un Hietograma. El método además incluye la interceptación del número de curva de escorrentía, la clasificación hidrológica de los suelos (Tabla 2 y 3), el uso y tratamiento del suelo y la condición hidrológica del suelo (Tabla 4), la condición de humedad antecedente (Tabla 6).

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76mm/h	Arenosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Arenosa-limosa Franca Franco-arcillosa-limosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy lenta	Capacidad de infiltración <13 mm/h	Arcillosa

**Tabla 2** Grupos hidrológicos del suelo

**Fuente:** SCS, (1964) en Bradbury et al., (2000)



Descripción	Grupo
Aluviones y Coluviones actuales	A
Arenas y margas	B
Areniscas rojas, filitas, cuarcitas y pizarras	C
Basaltos	D
Calizas recristalizadas cremas	B
Calizas tableadas azules	B
Coluvial	A
Conos de deyección	A
Cuarcitas blancas, micaesquistos plateados y gneises albícos	B
Cuarcitas micaceas	D
Diabasas	D
Dolomías negras y calizas	B
Filitas, cuarcitas y calcoesquistos	C
Glacs. Limos negros y rojos y cantos encostrados	C
Indiferenciado	C*
Limos y arcillas rojas con episodios de caliche	C
Margas arenosas y margas	C
Margas blancas	D
Margas grises	D
Margas y areniscas	B
Marmoles calizos y dolomíticos	C
Mármoles fajeados y mármoles blancos y crema	C
Micacitas con granates	C
Micaesquistos y cuarcitas	C
Pizarras micaceas y micacitas	D
Terrazas	B
Yesos	C

**Tabla 3** Clasificación hidrológica por grupos de suelo

**Fuente:** SCS, (1964) en Bradbury et al., (2000)

Condición	Descripción
Pastos	
Pobre	Menos del 50% de área cubierta por pasto. Alta intensidad de pastoreo
Aceptable	50 al 75% del área cubierta por pasto. Intensidad media de pastoreo.

Buena	75% del área cubierta por pasto. Intensidad ligera de pastoreo.
Bosques	
Pobre	Bosques regularmente quemados con pocos arbustos y poco humus vegetal.
Aceptable	Con algunos arbustos, moderada cantidad de humus vegetal y pasto.
Buena	Protegido con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie.

**Tabla 4** Condición hidrológica del suelo

**Fuente:** Resolución 865, (2004)

Condición de humedad antecedente AMC	Precipitación acumulada de los cinco días previos al evento (cm)	
	Temporada inactiva	Temporada de crecimiento
I	Menor 0.5	Menor 1.4
II	0.5 – 1.1	1.4 – 2.1
III	Mayor 1.1	Mayor 2.1

**Tabla 5** Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad  
antecedente

**Fuente:** Resolución 865, (2004)

En este sentido, para cuantificar de la oferta hídrica neta disponible, se debe reducir la oferta hídrica total calculada por calidad del agua y por caudal mínimo ecológico. La primera, es factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico y restringe en un amplio rango de posibles usos. Así, de acuerdo a la Resolución 0865 (2004) una vez se conozca el estado de la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento como de los cuerpos

de agua, la oferta hídrica de estos sistemas se debe afectar por el 25%, correspondiendo a la condición de calidad del agua. El segundo, es un caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua. Sin embargo la Resolución 0865 (2004) ha planteado diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos (Tabla 6).

Metodología	Descripción
Hidrológicas	Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales.
Hidráulicas	Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.
Simulación de los hábitat	Estiman el caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo.
Mínimo histórico	El Estudio Nacional del Agua (2000) a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97.5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2.33 años.
Porcentaje de descuento	El IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

**Tabla 6** Metodologías para el descuento de caudal ecológico.

**Fuente:** Resolución 865, (2004)

Finalmente, la suma de la reducción por calidad del agua (25%) más la reducción por caudal ecológico (25%), equivale a la reducción total de la oferta hídrica. Esta metodología es aplicable para cuencas menores a 250 km<sup>2</sup> y sobre las regiones Caribe y Andina.

### Demanda Hídrica

De acuerdo con el Gobierno Regional de Coquimbo (2000), una vez estimada la cantidad de agua disponible en el suelo, es necesario evaluar la demanda del cultivo, en este caso representada por la evapotranspiración. Sólo de esta forma sabremos la cantidad de agua necesaria de ser entregada a través del riego, para cubrir la totalidad de las necesidades del cultivo en sus distintas fases de desarrollo. No obstante, la demanda de agua del cultivo o Evapotranspiración del cultivo (ETc) depende del estado de desarrollo en que se encuentre el vegetal, en este caso, brotación, desarrollo de frutos, cosecha; de las condiciones climáticas como temperatura, humedad relativa y viento; de las características del suelo como profundidad, textura, infiltración, pedregosidad, estratas, y de la disponibilidad de agua que se tenga (Gobierno Regional de Coquimbo, 2000). Para esto es necesario hacer algunos cálculos que apuntan específicamente a estimar la ETc, a través de una estimación de la transpiración de las plantas y de la evaporación de agua que ocurre desde el suelo.

La Resolución 0865 (2004), afirma que el país no cuenta con un sistema de información continua y sectorial de uso del agua, ni ha contabilizado históricamente el agua usada de fuentes superficiales y subterráneas. Po esta razón, se presentan tres escenarios para el cálculo de la demanda hídrica (Tabla 7).

Escenario	Descripción
Cuando existe información medida	La demanda de agua en general, representa el volumen de agua, expresado en millones de metros cúbicos, utilizado por las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado y corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales.

<p>Cuando existe información medida, pero esta es insuficiente</p>	<p>Frente a esta situación se debe aprovechar la información medida, que debe ser agrupada y catalogada en unidades expresadas en millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) en una base de datos. Por otra parte, la información inexistente debe complementarse utilizando la metodología expuesta en el escenario tres.</p>
<p>Cuando no existe información</p>	<p>En este escenario se debe estimar potencialmente el volumen de agua demandada en millones de metros cúbicos a nivel sectorial. Estas estimaciones se basan principalmente en la asociación de dos variables: el volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua por tipo de bien, con el limitante de que estas estimaciones no contemplan las pérdidas de los sistemas de conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución del agua en el suministro de agua potable y a nivel de la industria, tampoco tienen en consideración el nivel tecnológico, los métodos de producción limpia y el uso que del agua hace la industria extractiva.</p>

**Tabla 7** Escenarios para el cálculo de la demanda hídrica.

**Fuente:** Resolución 865, (2004)

### Índice de escasez

Según la Organización de los Estados Americanos-OEA (2004), el índice de escasez como indicador del recurso hídrico puede ser implementado en una diversa gama de dominios espaciales, desde al tramo al tramo de un río, a una cuenca, a una región hidrológica, a una región hidrológica e incluso al territorio de una nación. Este índice es aplicable a todo aquel territorio en el que se puedan valorar todas las entradas y salidas de aguas superficiales. En casos particulares el índice de escasez puede ser evaluado en sistemas de abastecimiento en los que sus fuentes abastecedoras pueden ser inconexas entre sí, pero en los cuales los elementos de entrada y salida de agua potencialmente aprovechables pueden ser cuantificados. En este sentido, en Colombia

la Resolución 0865 (2004) plantea una ecuación para el cálculo del índice de escasez en porcentaje (Ecuación 4) y establece cinco categorías como una unidad de medida del índice de escasez (Tabla 8).

$$I_e = \frac{D_h}{O_h} \times Fr \times 100 \quad \text{Ecu. 4}$$

Donde, Ie-Índice de escasez en porcentaje, Dh-Demanda hídrica, Oh-Oferta hídrica superficial neta, Fr-Factor de reducción por calidad del agua y el caudal ecológico y 100 para expresarlo en porcentaje.

Categoría	Rango	Color	Explicación
Alto	>50%	Rojo	Demanda alta
Medio alto	21-50%	Naranja	Demanda apreciable
Medio	11-20%	Amarillo	Demanda baja
Mínimo	1-10%	Verde	Demanda muy baja
No significativo	<1%	Azul	Demanda no significativa

**Tabla 8** Categorías para el índice de escasez.

**Fuente:** Resolución 865, (2004)

### Caracterización Físico-Morfométrica

Para Dury (1952) el estudio físico-morfométrico de una cuenca hidrográfica proporciona información precisa de las características medibles de la red de arroyos de la cuenca fluvial. Los diversos parámetros morfométricos como área, altitud, volumen, pendiente, perfil y textura de las formas terrestres son importantes para este estudio. Por esta razón, el análisis también es muy importante para el desarrollo y la planificación de cuencas hidrográficas para proporcionar un conocimiento sobre las características de la cuenca en términos de características topográficas y de suelo, comportamiento de escorrentía, potencial de agua superficial, etc. (Astras, 1992).

Por otra parte, Strahler (1964) afirma que el estudio sistemático de la morfometría de drenaje proporciona una descripción cuantitativa de la geometría de la cuenca para comprender su historia geológica y geomorfológica de la cuenca de drenaje. De modo similar, Rai et al (2017) establecen que los parámetros morfométricos importantes requieren la investigación de varios parámetros de drenaje relacionados, como la red de drenaje, la geometría de la cuenca, las características de relieve y la textura del drenaje, etc.

Para efectos de la presente investigación se han consultado diferentes trabajos con enfoques relacionados a la caracterización físico-morfométrico de cuencas hidrográficas Miller (1953), Boulton (1965), Gregory (1974), Rinaldo (1998), Angillieri (2008), Ozdemir (2009), Wilson (2012), Magesh (2013), Sujatha (2015). De acuerdo con las anteriores investigaciones, los métodos para la delineación de una cuenca pueden ser de tipo convencional como las observaciones basadas en el campo y mapas topográficos antiguos o pueden desarrollarse con tecnologías geoespaciales avanzadas como la detección remota y SIG.

En la Tabla 9 se presentan los parámetros físico-morfométricos de una cuenca hidrográfica, simbología, la ecuación, herramienta de apoyo y la fuente de consulta o ejecución.

Parámetro	Símbolo	Ecuación	Criterio
Área	A	Bajo la herramienta de un Software	ArcGIS Ramirez C, (2019)
Perímetro	P	Bajo la herramienta de un Software	ArcGIS Ramirez C, (2019)
Longitud del cauce principal	Lcp	Bajo la herramienta de un Software	ArcGIS Ramirez C, (2019)

Densidad de corrientes	Dc	$Dc = \frac{Nc}{A}$ <p>Nc, numero de corrientes perennes e inertes</p>	Villon (2000)
Densidad de drenaje	Dd	$Dd = \frac{L}{A}$ <p>L, longitud de corrientes perennes o intermitentes</p>	Villon (2000)
Pendiente del cauce principal	Scp	$Scp = \frac{H}{L}$ <p>H, desnivel entre los extremos del tramo del cauce</p> <p>L, longitud horizontal del tramo del cauce</p>	Taylor y Schawartz (1952)
Coeficiente de compacidad	Kc	$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Gravelius (1914)
Factor de forma	Ff	$Ff = \frac{A}{L^2}$	Horton (1945)
Índice de alargamiento	la	$Ia = \frac{La}{a}$	Villon (2000)
Elevación media de la microcuenca	Em	$Em = \frac{\sum[E * A]}{A_{total}}$	Villon (2000)



Pendiente media de la microcuenca	Sm	$S_m = \frac{D * L}{A}$	Alvord, Horton (1945), Nash y el criterio de rectángulo equivalente.

**Tabla 9** Parámetros físico-morfométricos.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

### Evapotranspiración Potencial, ETP

El término evapotranspiración potencial fue introducido por Thornthwaite, y se define como la pérdida total de agua, que ocurriría si en ningún momento existiría deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación Villon (2002), es decir es la evapotranspiración máxima posible que se presenta bajo condiciones existentes, cuando el suelo está totalmente saturado (máxima capacidad de campo) y con una capa vegetal completa.

Se han desarrollado métodos basados en datos meteorológicos para calcular estas cantidades de agua, de los cuales los más conocidos son el de Thornthwaite y el de Blaney-Criddle. Sin embargo, para la metodología del presente trabajo de investigación el cálculo de la ETP se realiza únicamente por el método directo de Thornthwaite, ya que esta metodología depende específicamente de la temperatura media mensual multianual.

El método de Thornthwaite fue desarrollado en los Estados Unidos, se puede aplicar con relativa confianza en regiones húmedas. Para el cálculo se debe hacer seguir esta formulación:

- a. Calcular la evapotranspiración mensual e, en mm por mes de 30 días de 12 horas de duración, como se muestra en la ecuación 5

$$e = 16 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a \quad \text{Ec. 5}$$

Donde, t- temperatura media mensual en °C, I- sumatoria del índice térmico mensual que se calcula siguiendo la ecuación 6.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ec. 6}$$

a: exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad calculado a partir de la ecuación 7.

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} I^3 - 0.771 \times 10^{-4} I^2 + 0.017921 I + 0.49239 \quad \text{Ec. 7}$$

b. De acuerdo al mes considerado y la ubicación (latitud) de la localidad se determina las horas de sol de acuerdo a la Tabla 10.

Lat. Norte	En	Feb	Mar	Abr	May	Jn	Jul	Ag	Sep	Oc	Nov	Dic
Lat Sur	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
50	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0° Ecuador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1

**Tabla 10** Número máximo de horas de sol.

**Fuente:** Doorenbos y Pruitt, (1977)

c. Corregir el valor de e, de acuerdo con el mes considerado y a la latitud de la localidad que determinan las horas de sol, cuyos valores se obtienen de la tabla 4.

Latitud	E	F	M	A	M	J <sub>N</sub>	J <sub>L</sub>	A	S	O	N	D	
Norte	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80		1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
Sur	0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41	

**Tabla 11** Factor de corrección f, por duración de las horas de sol expresadas en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una.

**Fuente:** Villon, (2002)

### Evapotranspiración Real, ETR

Es la evapotranspiración que sucede bajo situaciones reales, en este sentido es evidente que la  $ETR \leq ETP$ , por ejemplo, en un lugar desértico la ETP puede ser de 6mm/día y la ETR de 0 puesto que no hay agua para evapotranspirar Ramon (2019). Solo serán iguales en el caso que la humedad del suelo sea óptima y que exista un buen desarrollo vegetal.

### Balance de agua en el suelo

Por medio de las precipitaciones, y la aplicación de riego artificial llega agua a la superficie de la tierra. Parte de estas precipitaciones se evapora en contacto con el aire o es absorbida por las plantas y después transpirada por las mismas, fenómenos que denominaremos de forma general como evapotranspiración. El agua entonces sigue dos caminos: una parte fluye por la superficie de la corteza terrestre y otra parte se infiltra en el terreno. El agua de infiltración aún puede ser captada por el suelo y las plantas, sufriendo entonces fenómenos de evapotranspiración o puede circular hipodérmicamente junto con las aguas que circulan en superficie, denominándose el conjunto aguas de escurrimiento. La parte de agua infiltrada que alcanza una zona más

profunda constituye la verdadera agua de infiltración que se junta con las aguas subterráneas alimentando el acuífero (Fuetes Yagüe, 1998).

Sin embargo, conociendo las precipitaciones y la evapotranspiración potencial mes a mes, se puede obtener la evolución del agua en el suelo mediante un balance con la evapotranspiración real. Es decir, conocer si se queda en la suelo como reserva, si es retenida dando lugar a los excedentes o si el suelo puede presentar déficit.

### **2.2.3. Geología**

Para Rastogi (1976) la litología, el relieve y el clima son los principales medios ambientales que determinan la naturaleza de la cuenca y las características respectivas de los sistemas de agua en una corriente que funcionan a nivel de cuenca. En este apartado se resaltarán la importancia de un análisis morfométrico como medida cuantitativa de las formas del terreno resaltando de acuerdo con Rastogi la litología en una cuenca.

Además, el análisis morfométrico es un indicador importante de la estructura de la forma del terreno y de los procesos hidrogeológicos, pérdidas de materiales de una cuenca, propiedades físicas del suelo, procesos del suelo y características de erosión. Miller (1953), Khare (2014), Kabite (2018). Pero recientemente, con el avance de la tecnología geoespacial, se facilitaron los procedimientos matemáticos y los caracteres hidro morfométricos de las cuencas de drenaje (Aparna, 2015; Kabite, 2018; Debelo, 2017).

Por otra parte, para Sadeghi (2017), la preocupación por el impacto de las tasas aceleradas de erosión del suelo y el rendimiento de los sedimentos en las cuencas hidrográficas, como resultado de la limpieza de la tierra y la mala gestión de esta, generalmente se ha dividido en sus efectos en términos de problemas dentro y fuera del sitio. En muchas zonas del mundo, particularmente en los países en desarrollo, el control de la erosión del suelo y la distribución de sedimentos a los cursos de agua se considera

de gran importancia para reducir los sedimentos difusos y tratar los problemas mencionados.

### Litología

Según Abramson (1996) desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo con su génesis o formación diferenciándose dos grupos de materiales diversos los cuales son las rocas (ígneas intrusivas, volcánicas o ígneas extrusivas, metamórficas y sedimentarias) y los suelos (residuales, aluviales, glaciales, eólicos, orgánicos y coluviales).

En este sentido, según el Plan de Desarrollo Municipal de Cacota (2012-2015) el municipio de Cacota se localiza sobre el ramal central de la Cordillera Oriental Colombiana, haciendo parte del denominado Macizo de Santander. Encontrándose recientemente los siguientes Depósitos: Coluviones (Qcol), depósitos producto de deslizamiento principalmente en pendiente fuertes a moderadas, involucrando materiales heterogéneos de variado tamaño, distribuidos irregularmente, en forma caótica. Tienen amplia distribución en el municipio y en el más extenso se localiza en el casco urbano. Aluviones (Qal), depósitos originados por la acción erosiva de los cauces y de las aguas de escurrimiento; por su génesis presentan selección y granulometría decreciente de base a techo y hacia los costados de las corrientes. Este tipo de depósitos se localizan principalmente en las partes altas de las Quebradas El Cojito – El Palmar, Quebradas Santa Matilde – Honda, y a los costados de la Quebrada La Lejía y el Río Chitagá. Terrazas (Qt), se identificaron algunas terrazas aluviales como es el caso del Río Chitagá, y en la parte media del Río Cágota; una terraza posiblemente diluvial en la parte alta del Río Cágota. Las Terrazas aluviales presentan granulometría homogénea de material de arrastre del cauce, mientras las terrazas diluviales su composición litológica está más influenciada por material heterogéneo por lo general de las rocas fragmentadas que se desliza al cauce principal.

## **2.3. MARCO LEGAL**

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2017, es la principal norma para todos los temas que estén relacionados con la gestión de los recursos hídricos en Colombia, este contiene aspectos generales de los sistemas desde su captación hasta el tratamiento para la obtención de agua apta para el consumo.

Siguiendo la pirámide del jurista Hans Kelsen las bases legales que sustentan el objeto de estudio son:

### **2.3.1. Constitución Política de Colombia, CPC**

La CPC consagra los artículos 79 y 80 los cuales expresan los derechos comunes a gozar de un ambiente sano y la planificación y manejo para el aprovechamiento de los recursos.

### **2.3.2. Tratados Internacionales**

A lo largo de la historia cada uno de los continentes se han preocupado por la conservación de la naturaleza, así como el bienestar y la salud de las personas, a partir de estos principios se han realizado varios tratados, cumbre y convenios entre países en pro de efectuar el desarrollo sostenible, dentro de los cuales se encuentran:

Carta Mundial de la Naturaleza, Este documento representa la estrategia mundial para la conservación de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente (MOBIUS, 2017).

La Cumbre de Río de Janeiro, se definían los derechos civiles y las obligaciones de los estados para lograr el progreso y bienestar de la humanidad y la conservación y aplicación de un desarrollo sostenible en todos los tipos de bosques (MOBIUS, 2017).

Convenio Marco de la Diversidad Biológica, estipula lograr la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios de la utilización de los recursos naturales (MOBIUS, 2017).

Convenio de Aarhus, se hizo para la protección de los derechos de los ciudadanos a vivir en un medio que garantice su salud y bienestar (MOBIUS, 2017).

### **2.3.3. Leyes**

Ley 23 de 1973, con el fin de prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional.

Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

Ley 373 de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

### **2.3.4. Decretos**

Decreto 1076 de 2015, por medio de la cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el objetivo de compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario que rigen en el sector y contar con un instrumento jurídico único para el mismo.

Decreto 703 de 2018, por el que se efectúan unos ajustes al Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y se dictan otras disposiciones.

### **2.3.5. Resoluciones**

Resolución 1096 del 2000, El presente Reglamento tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias,

señaladas en el artículo 14, numerales 14.19, 14.22, 14.23 y 14.24 de la Ley 142 de 1994, que adelanten las Entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces.

Resolución 865 de 2004, Adoptar la metodología para el cálculo del Índice de Escasez para aguas superficiales desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, adjunta a la presente resolución.

Resolución 0330 de 2017, reglamenta los requisitos técnicos que deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, y mantenimiento adoptando el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y derogando la Resolución 1096 de 2000, 424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.

## **2.4. MARCO CONTEXTUAL**

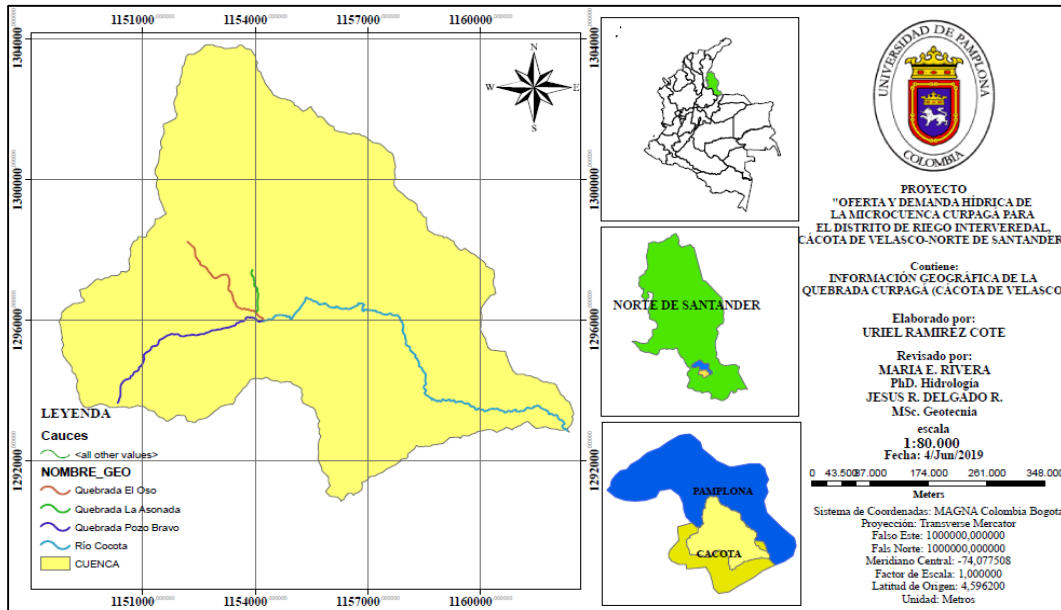
El Municipio Cácuta de Velasco se encuentra en la zona suroccidental del Departamento Norte de Santander, su posición geográfica la siguiente: desde 1.148.600 a 1.165.420 longitud oeste y desde 1.287.090 a 1.302.850 latitud norte. Cuenta con una superficie de 139,71 Km<sup>2</sup>. Además, Cacota limita en el Norte con Pamplona, al Noroccidente con Mutiscua, por el Suroccidente con Silos, al Sur con Chitaga y finalmente por el Este con el municipio La Bateca.

### **2.4.1. Zona de Estudio**

La zona de estudio es la Quebrada Curpagá, la cual se encuentra ubicada al suroeste del municipio, dentro la cuenca del Río Cacota. El punto de trabajo se encuentra aproximadamente 500 metros aguas abajo después de la intersección entre las quebradas El Oso, La Asonada y Pozo Bravo ubicadas en la vereda Curpagá a 30 minutos desde el parque central del municipio de Cácuta, con una altura aproximada de 2600 a 2550 m.s.n.m. La quebrada abastece el distrito de riego interveredal



ASOCACOTA cubriendo 5 veredas del municipio, siendo la fuente clave de suministro en épocas estiaje.



**Imagen 1** Ubicación de la quebrada Curpagá dentro del municipio de Cúcuta.

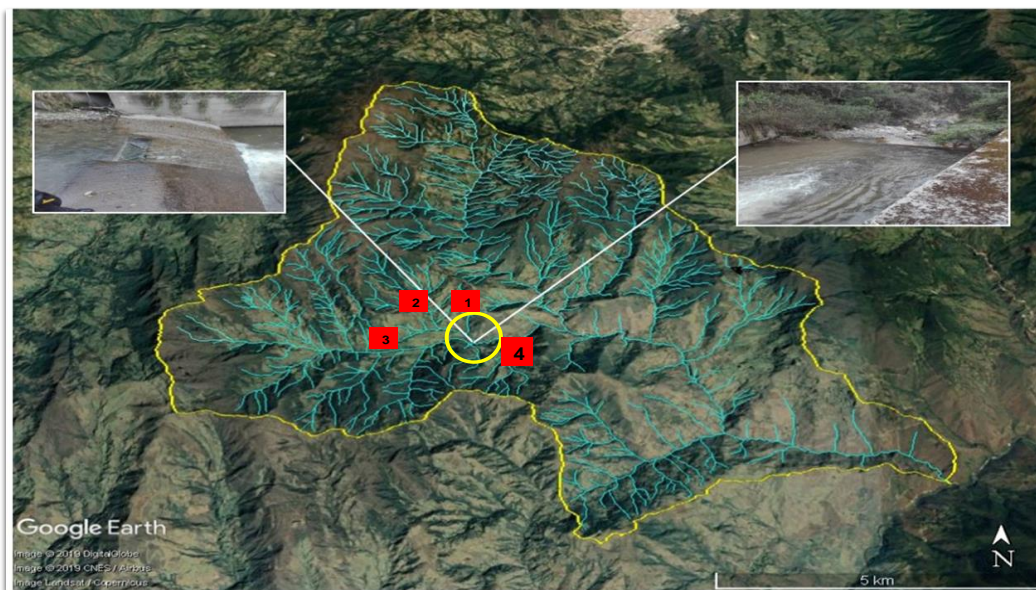
**Fuente:** Ramírez C, modificado en ArcGIS (2019).

La zona de estudio actualmente presenta obras hidráulicas como Bocatoma, Desarenador, Tanque de Almacenamiento y Red de Distribución. La bocatoma se encuentra en una zona de poca cobertura vegetal y con altas intervenciones antropogénicas, el desarenador no tiene funcionamiento alguno, ya que el diseño inicial fue mal elaborado inhabilitando su función principal, el tanque de almacenamiento se encuentra con alto grado de deterioro, y finalmente la red de distribución se extiende por un área de 200 ha sobre las cinco veredas.

#### 2.4.2. Descripción Hidrográfica

El municipio de Cacota cuenta con abundantes recursos hídricos como se observa en la imagen 2, al Occidente los principales cuerpos hídricos pertenecen a las quebradas Pozo Bravo (3) y Árbol Solo las cuales limitan con los municipio de Mutiscua y Chitaga a una

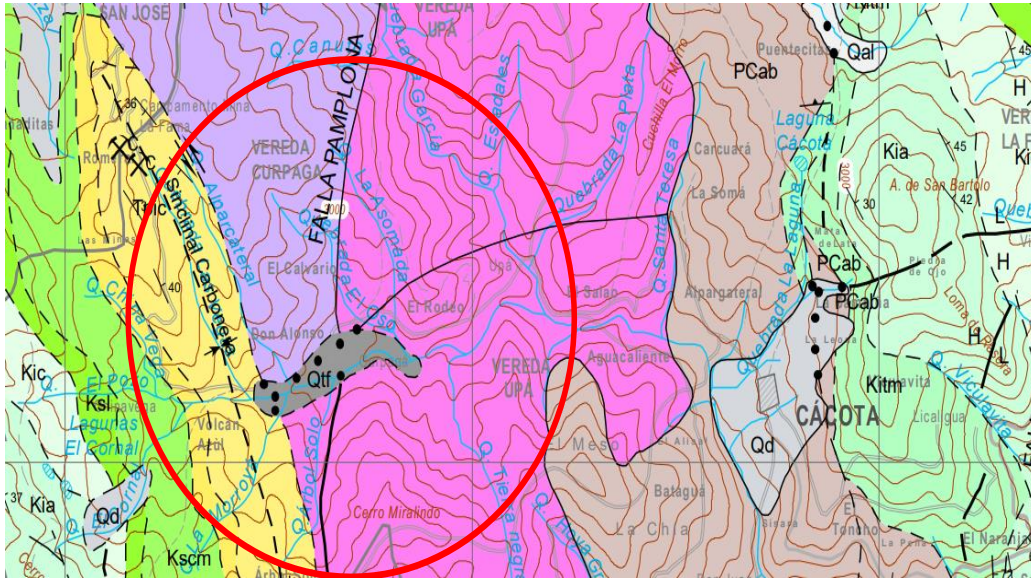
altura aproximadamente de 3720 m.s.n.m, por el Este se encuentra la microcuenca de la quebrada la Plata, que es de gran importancia como aporte en volumen a la cuenca del Rio Cacota ubicada alrededor de los 2880 m.s.n.m. En general, dentro de la red hídrica del municipio de Cacota se encuentran varias quebradas de gran interés como lo son: Garcia, La Asonada (1), Santa Teresa, La Laguna, El Salado, Talagula, Morroya, Vegas, Morro Negro, El Sute, Agua Blanca, Ucuques, Pozo Negro, Alpargateral, Canuto, Chinavega, El Oso (2), Hoyada Grande y Talagula. En conclusión, cada una de estas quebradas entrega sus aguas al Rio Cacota cuyo punto más bajo ubicado sobre los 1850 m.s.n.m desemboca sobre el Rio Chitaga, el cual las transporta hasta el majestuoso Rio Arauca ubicado en el inmenso piedemonte llanero.



**Imagen 2** Hidrografía de la Zona de Estudio  
**Fuente:** Ramirez C, modificado en ArcGIS y Google Earth, (2019)

### 2.4.3. Descripción geológica

En la imagen 3 se muestra la zona de estudio, la cual se encuentra afectada de Norte a Sur por la falla Pamplona.



**Imagen 3** Geología de la zona de estudio

**Fuente:** Ramirez C, modificado plancha 110 Pamplona del SGC, (2019)

Del lado Este de la falla se encuentra una formación paleozoica con características de granito durania (dg) de color blanco y de grano medio a grueso, moscovítico específico de rocas ígneas. Del lado oeste de la falla se encuentran rocas metamórficas con origen paleozoico y de formación silgara con descripción filita, esquisto y cuarcita la mayoría de grado metamórfico medio a bajo (PDs). En el centro de la zona justo en el punto de intersección de las tres quebradas se encuentran rocas sedimentarias de origen cenozoico con formación de terrazas y cono de deyección (Qtf). Sin embargo, la formación general geológica en la zona de estudio es de formación fluvio-torrencial y de origen glacial.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. FASES METODOLÓGICAS**

La investigación descriptiva-cuantitativa es el tipo análisis metodológico a utilizar en el proyecto. La investigación descriptiva según Namakforoosh (2007) es una forma de estudio para saber ¿Quién?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cómo? y ¿Por qué? del problema del estudio. En otras palabras, explica perfectamente a una organización el consumidor, objetos, conceptos y cuentas. Por otra parte, Lara Muñoz (2013) afirma que la investigación cuantitativa o tradicional se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos, lo supone de la derivación de un marco conceptual pertinente al problema planteado, una serie de postulados que expresen relaciones entre las variables estudiadas de forma deductiva.

Acontinuacion se presentan las fases metodologicas:

##### **3.1.1. Recopilación e interpretación de la información hidrometeorológica.**

La recopilación de la información de precipitación y temperatura durante un periodo de 30 años comprendido entre 1989 a 2018 de la estación Cacota (Tabla 5), se realizó de manera virtual a las instituciones hidrometeorológicas locales como el IDEAM y satelitales como NASAGIOVANI. Posteriormente, se interpretó la información mediante un análisis estadístico de homogeneidad de los datos mediante el paquete estadístico de Excel. Además, se construyeron las gráficas de precipitación y temperatura multianual, pluviograma y climograma para la estación en estudio.

Estación		Ubicación					Tipo
Código	Nombre	Norte	Oeste	Altura	Municipio	Departamento	
37010030	Cacota	7.27	72.64361	2645	Cacota de Velasco	Norte de Santander	Pluviométrica

**Tabla 12** Estación cercana a la zona de estudio.

**Fuente:** IDEAM, (2019).

Posteriormente, se calculó la evapotranspiración potencial bajo la metodología propuesta por Thornthwaite, teniendo en cuenta la variable de temperatura media mensual. Para ello, se aplicaron interpolaciones para Brillo solar y factor de corrección del mismo (Tabla 3 y 4). Además, se realizaron graficas de ETP en un periodo quinquenal hasta completar el registro de datos.

Para finalizar se elaboró una gráfica comparativa para observar el aumento (si existe) de la ETP entre 1989 y 2018. Así mismo, después de obtener los valores de ETP se realizó un cálculo para conocer el balance de agua en el suelo. Para esto, se calculó la ETR obteniendo las gráficas de representación para establecer las épocas de déficit, excedentes y uso de la reserva. Por último se realizó una simulación de balance de agua en el suelo con datos para el año 2019.

### **3.1.2. Caracterización físico-morfométricamente y reconocimiento de la zona de estudio.**

Inicialmente se descargó el DEM de la plataforma web EARTHADATA- Alaska Satellite Facility's (ASF) y luego, se descargó la cartografía base de las planchas 110IVA, 110IIC y 110IIB del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Después, toda esta información se ingresó al software ArcGIS v 10.5 (versión de prueba) y mediante las herramientas del ArcToolbox se ejecutaron los comandos para obtener una mejor resolución de la imagen satelital, para realizar los flujos de dirección y acumulación hídrica, para procesar el TIN con el fin de obtener los valores de la variación topográfica y, para realizar la delimitación de la microcuenca. Para terminar, se obtienen las

características físico-morfométricos de la microcuenca mencionados en el apartado 2.2.1. (Tabla 3).

Por otra parte, se llevó a cabo un reconocimiento de la zona de estudio, específicamente sobre la ubicación de la bocatoma, con el fin de realizar una comparación con registros fotográficos en diferentes visitas a la zona de estudio analizando si existe o no una alteración ecosistemita de la zona.

### 3.1.3. Compilación de la información de usuarios hídricos en la zona de estudio.

Mediante el registro único del usuario hídrico elaborado por CORPORNOR, se recolecto la información de cada uno de los usuarios adscritos al distrito de riego. El registro se realizó de manera personal, visitando a cada uno de los usuarios bajo el desarrollo de una entrevista informal.

Las preguntas que se realizaron a los usuarios se dividieron en 7 categorías como se describen en la tabla 6.

Categoría	Claves
Información general	ID, Fecha, Municipio, Vereda
Información del usuario	Tenencia, Propietario/Representante Legal, Numero de Identificación, Nombre del Predio, Área del predio
Georeferenciación	Coordenadas Norte, Coordenadas Oeste, Altura
Información básica de la demanda del recurso hídrico	¿En qué épocas del año cree que se presenta escasez?, Caudal captado, Usos (Domestico, Pecuario o Agrícola)
Sistema de captación y distribución del recurso	Tipo de captación, Estado de la captación, Numero de surtidores usados al mismo tiempo, Caudal promedio de



	riego diario, Tipo de almacenamiento, Volumen de almacenado.
Residuos	Tratamiento de los Sólidos orgánicos, Tratamiento de los Sólidos inorgánicos, Tratamiento de Líquidos.
Observaciones	Notas de campo.

**Tabla 13** Categorías y preguntas de la información recolectada en campo.

**Fuente:** Ramirez C, modificado de CORPONOR, (2019).

Además, se realizaron diálogos con los habitantes de la zona de estudio (que residen hace más de 30 años) con el fin de conocer testimonios sobre los cambios ambientales de la zona. Las visitas se realizaron durante las primeras 10 semanas, cada visita fue programada con anticipación con el usuario.

### **3.1.4. Cálculo de la oferta hídrica, demanda hídrica e índice de escasez de la microcuenca Curpagá.**

#### Oferta hídrica

Se aplicó la metodología descrita en la Resolución 0865 del 2004 para el cálculo de la oferta con pérdidas por número de curva. Además, en la investigación se implementó el método de relación lluvia-escorrentía, en la cual se hace necesario el análisis de la cobertura vegetal, condición hidrológica del suelo, uso y tratamiento del suelo y antecedentes humedad.

Para analizar la cobertura vegetal, se descargó el mapa de cobertura de la tierra en formato Shape (2010-2012) desde la plataforma web del Sistema de Información Ambiental de Colombia-SIAC. Posteriormente, se corta del mapa para observar únicamente la cobertura que se encuentra en la zona de estudio. Sin embargo, se realiza una comparación de la imagen satelital con el registro fotográfico que se realizó durante

las visitas para comprobar la igualdad o si es el caso, cambiar la descripción de la cobertura, siguiendo la metodología CORINE Land Cover adoptada para Colombia.

La condición hidrológica del suelo, se determinó a partir de las clasificaciones presentadas del apartado 2.2 (Tablas 2, 3 y 4).

El uso y tratamiento del suelo se estableció a partir de las prácticas que realizan los agricultores sobre la zona. Para esto, se tomaron las clases de usos y tratamientos que se describen en la Resolución 0865 del 2004. Para el uso del suelo se asocian las coberturas forestales y vegetales de la cuenca como son el tipo de vegetación, los usos agrícolas, tierras en descanso, superficies impermeables y áreas urbanas. Para el tratamiento del suelo se aplica a las prácticas mecánicas como perfilado de curvas de nivel propias del uso agrícola, y prácticas de manejo como controles de pastoreo y rotación de cultivos.

La condición de humedad antecedente, se estipuló a partir del índice de retención y regulación hídrica (IRH) a partir de la curva de duración de caudales diarios (Anexo 19) propuesto por el IDEAM, y, relacionando en la Tabla 5.

Para el factor de reducción por calidad de agua, se realizó un análisis hidrobiológico y físico-químico del agua de la zona de estudio. El análisis hidrobiológico se efectuó con la recolección de los macro invertebrados sobre la zona de estudio. Posteriormente, se llevaron e identificaron en el museo de animales José Celestino Mutis con la colaboración del Biólogo José Sierra de la Universidad de Pamplona, quien cuenta con el permiso de colecta mediante Resolución N° 200 del 13 de Abril del 2015 de CORPONOR.

La cuantificación del porcentaje de reducción por calidad del agua se realizó bajo la metodología IBMWP/Col para los factores hidrobiológicos, luego, se compararon los resultados con el análisis físico-químico realizado en el Laboratorio de Calidad de Agua y de Diagnóstico de la Universidad de Pamplona. Mientras que el factor de reducción por caudal ecológico, se efectuó después de establecer una de las 5 categorías para el caudal ecológico (Tabla 6).

Por último, se le aplico porcentaje total de reducción correspondiente a la suma de los



dos porcentajes calculados, para, finalmente obtener el resultado de la oferta hídrica neta.

### Demanda hídrica

El cálculo de la demanda hídrica para los cultivos se realizó siguiendo la metodología propuesta por la FAO (2006) y las recomendaciones establecidas por el IDEAM en el capítulo 5 del Estudio Nacional del Agua.

Inicialmente, se estableció el escenario de acuerdo con la información que se recolectó durante el desarrollo del proyecto (Tabla 7). Luego, se estableció que la demanda total es únicamente por uso agrícola (DUA). Por esta razón, se consultó el coeficiente único del cultivo ( $K_c$ ) en las Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO, implementando una etapa de crecimiento de cultivo general nombrada mediados de temporada. Por otra parte, el cálculo de DUA incluye la determinación de la precipitación, de la ETP y el número de hectáreas cultivadas.

### Índice de escasez

Para el cálculo del índice de escasez, se realizó a partir de la relación demanda y oferta hídrica de acuerdo a lo establecido en el apartado 2.2.1. (Tabla 8).

### **3.1.5. Estimación de los caudales máximo y mínimo para la fuente de abastecimiento**

A consecuencia de la falta de información hidroclimatológica, se consultaron diferentes literaturas para conocer las ecuaciones que puedan aplicar a la estimación de los caudales máximos y mínimos en cuencas.

De acuerdo con Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz (2014), quienes desarrollaron una ecuación lógica a partir de una combinación de ecuaciones y del balance de masas o volúmenes para la obtención de los caudales máximos y mínimos en cuencas con poca información hidrológica.

### Caudal mínimo

El caudal mínimo se asume bajo la premisa de que en cada cuenca, la vida animal y vegetal tiene que estar adaptada a las condiciones naturales del sitio, y que esa adaptación se relaciona directamente con el volumen de agua disponible, incluyendo las variaciones extremas (Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz, 2014). En la ecuación 8, se observa las condiciones mínimas de equilibrio para el caudal mínimo.

$$Q_{\min} = \frac{P * A}{10^6} \quad \text{Ecu. 8}$$

Donde, P-Precipitación promedio anual de la microcuenca, A-Área de la microcuenca.

### Caudal máximo

Para el cálculo del caudal máximo se tuvo en cuenta las condiciones establecidas por Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz (2014), en la cual se tiene la premisa: los caudales máximos están siempre relacionados con un determinado período de retorno en años (T). Por lo tanto, cualquier fórmula empírica involucra este factor (Ecuación 9).

$$Q_{\max}(T) = a * P * A^f * F(T) \quad \text{Ecu. 9}$$

Donde, T- Período de retorno en años (5, 10, 25, 50 y 100), a-coeficiente, P-Precipitación promedio anual de la microcuenca, A-Área de la microcuenca.

Por otra parte, a es un coeficiente variable entre 0,01 y 0,1. En la Tabla 14 se observa las ecuaciones establecidas en relación con la precipitación media para el coeficiente variable a.

Precipitación (mm)	500 a 2500	>2500 a 4000
Fórmula para el coeficiente a	$a=0,644-0,08*\ln(P)$	$a=0,1256*\ln(P)-0,965$

**Tabla 14** Valores del Coeficiente a

**Fuente:** Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz, (2014)

Así mismo, para cuencas con área  $\leq 45 \text{ Km}^2$ , el exponente  $f=1$  y, para cuencas de áreas  $> 45 \text{ Km}^2$ ,  $f=0,5$ .

Con la aplicación de la ecuación 10 se obtendrá el cálculo de los caudales máximos, correspondientes a diferentes períodos de retorno T, la cual es válida para cuencas con áreas menores de 50 a 200  $\text{km}^2$

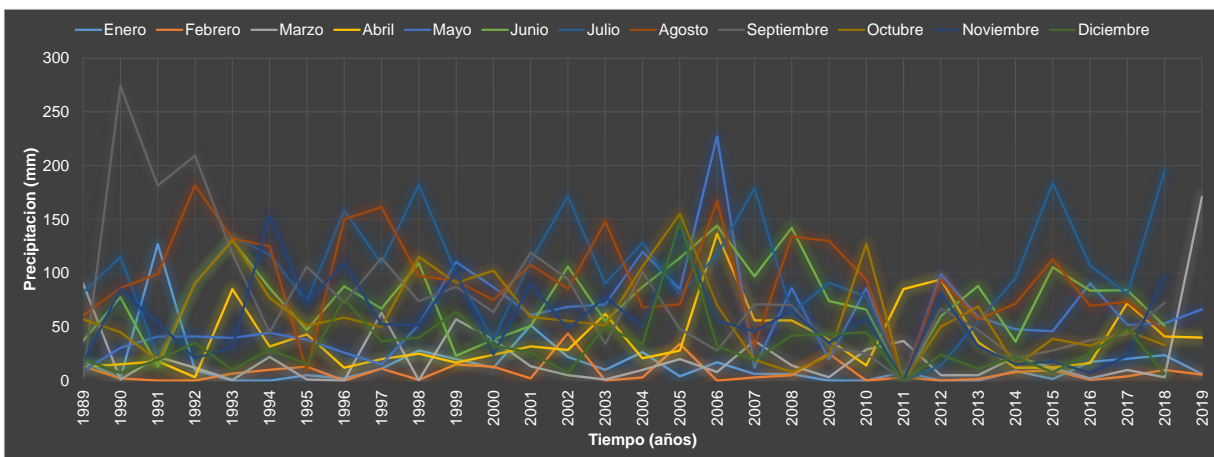
$$Q_{max} = a * \frac{P * \sqrt{A}}{(1 + \lg(A))} * (0,5 \ln(T) - 0,7) \quad \text{Ecu. 10}$$

## 4. RESULTADOS Y ANALISIS

### 4.1. VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS PRECIPITACION Y TEMPERATURA

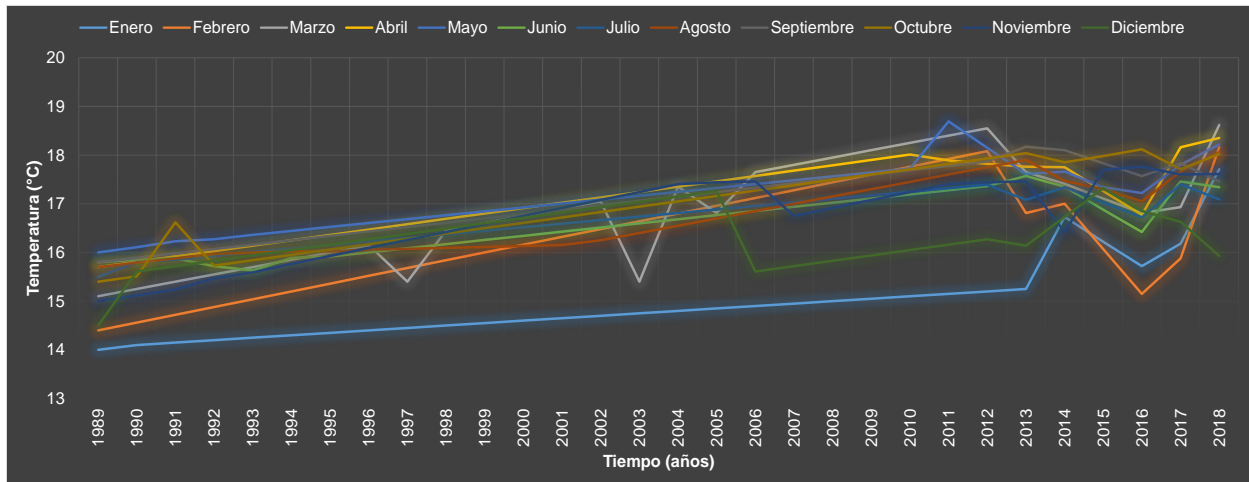
De acuerdo con el IDEAM, la estación cacota con código 37010030 es pluviométrica, es decir, está dotada de un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas.

De la Ilustración 1 se infiere que el comportamiento de la precipitación sobre el municipio de Cácuta se presentaba entre los años 1989-1993 en Agosto y Septiembre. Años más tarde, se observa un desplazamiento temporal hacia los meses de Julio-Agosto, donde el mes de Julio se convierte en el mes con mayor volumen de agua precipitado. Mientras que, los meses de Septiembre-Octubre-Noviembre-Diciembre presentan disminución hasta el mes de Enero. Sin embargo, la variable precipitación se considera estocástica toda vez que existe la probabilidad de que se presente o no. Por otra parte, el comportamiento de la temperatura (Ilustración 2) presentó un aumento lineal hasta el año 2010. A partir de este año, se observa como los valores tienen un comportamiento entrópico.



**Ilustración 1** Precipitación total mensual multianual de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

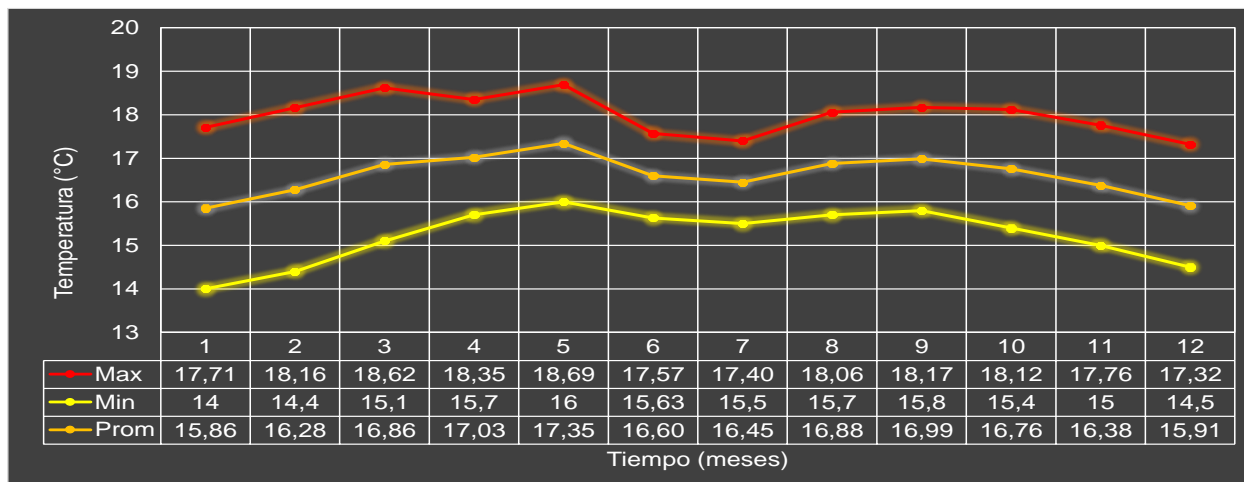


**Ilustración 2** Temperatura media mensual multianual de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018  
**Fuente:** Ramirez C, (2019)

De acuerdo con los escenarios propuestos por el IPCC(2000) y modelados por el IDEAM (2004), las proyecciones para la temperatura y precipitación basadas con registros de 1961 a 1990 en dos escenarios: a) A2- economía no influenciada por la sostenibilidad + crecimiento de la población mundial y b) B2-economía para el desarrollo sostenible + crecimiento de la población mundial, indicaron que en el territorio colombiano y debido al cambio climático, la temperatura aumentara entre 1 y 4 °C y la precipitación disminuirá entre 2 y 3 mm cada década. Además, se generara una variación entre temporal del 15 a 30 %. Asimismo, Pabon (2003) desarrollo un modelo de los posibles cambios de la temperatura y precipitación bajo un escenario de duplicación de dióxido de carbono, encontrando que el aumento de la temperatura sera de 1.3 a 1.4 °C en la ubicación geográfica para la zona de estudio y, la precipitación tendria una variación de 6 y 14 % de la intensidad normal. Con lo anterior, se corrobora que la zona de estudio se evidencia este cambio.

Como se ha mostrado, el comportamiento no lineal de la temperatura y la variación estocástica de la precipitación coinciden con los modelos desarrollados por anteriores investigaciones, indicando que el comportamiento es alterado por el cambio climático producto de actividades como el crecimiento poblacional, incremento de la economía no sostenible o por el aumento de gases efecto invernadero como el dióxido de carbono.

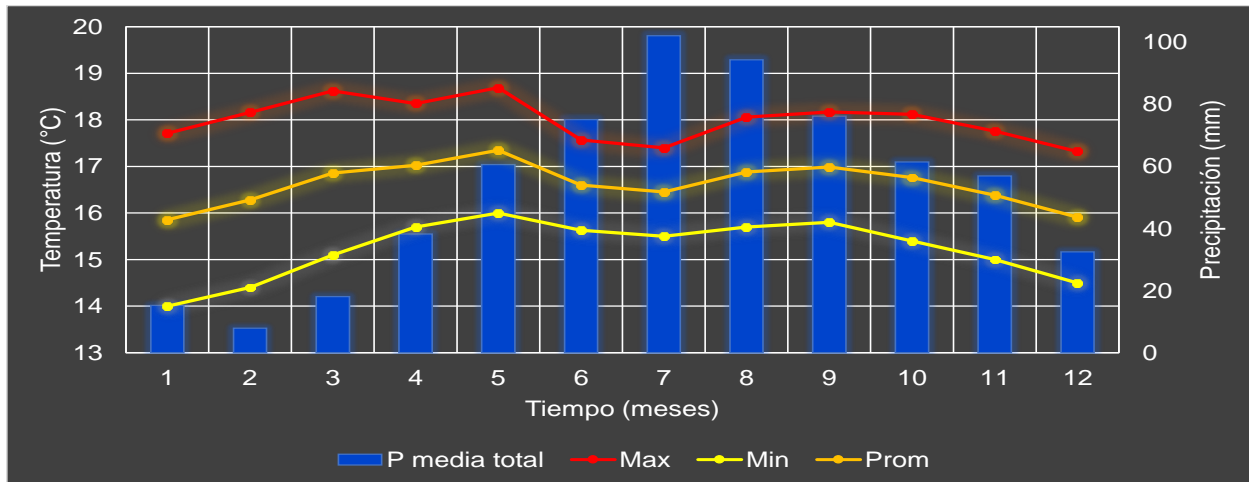
De acuerdo con lo anterior, en las ilustraciones 3 y 4 se observa la relación de las variables la temperatura máxima, media y mínima de una relación de datos de 30 años con un comportamiento bimodal en la zona de estudio, es decir, desde enero hasta mayo y de julio hasta octubre tiende a aumentar gradualmente, luego desde mayo a julio presenta una disminución, y que para finalizar desde octubre a enero vuelve a descender (ver anexos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9).



**Ilustración 3** Temperatura máximo, media y mínima multianual de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

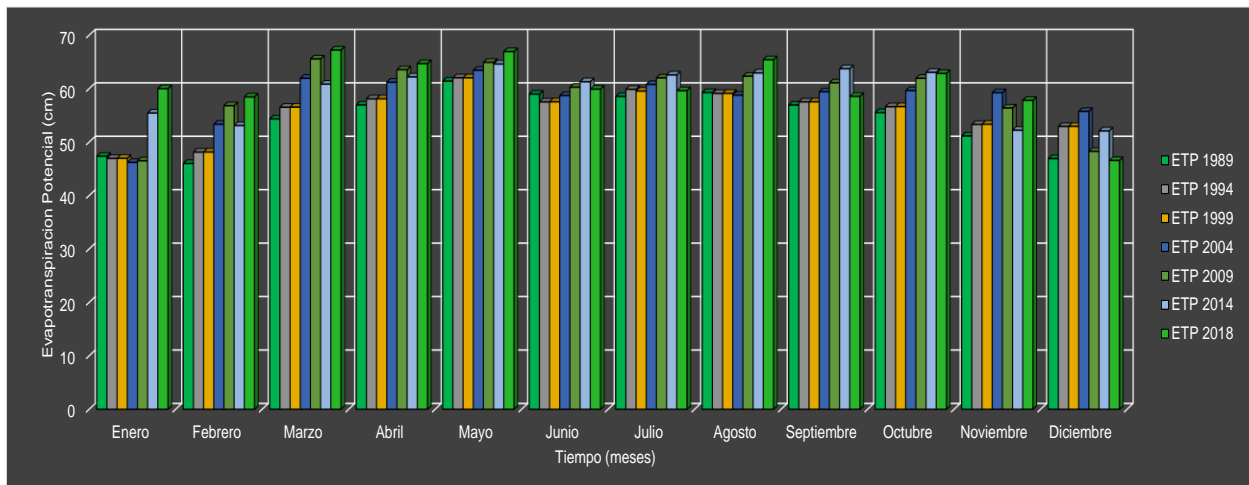
Así mismo, se construyó un Climograma (Ilustración 4), observando que las variables se encuentran directamente relacionadas.



**Ilustración 4** Climograma de la estación Cacota código 37010030 para la serie histórica 1989-2018

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

En la ilustración 5, se muestra los resultados obtenidos de la ETP siguiendo la metodología propuesta por Thornthwaite (1948).

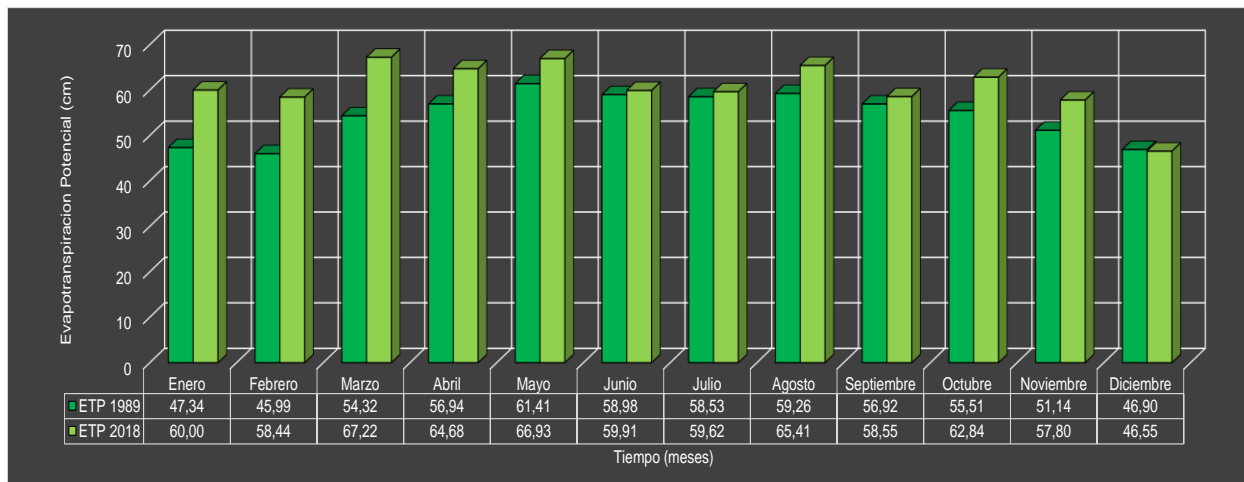


**Ilustración 5** Evapotranspiración potencial mensual quinquenal del periodo 1989-2018.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Los valores de ETP con frecuencia quinquenal (Ilustración 5), muestran claramente el aumento gradual de la ETP a lo largo del tiempo, el cual está directamente relacionado al incremento que ha tenido la temperatura sobre la región durante los últimos 30 años (ver anexo 10) y de acuerdo con Pabon (2003) traería un desplazamiento hacia mayores

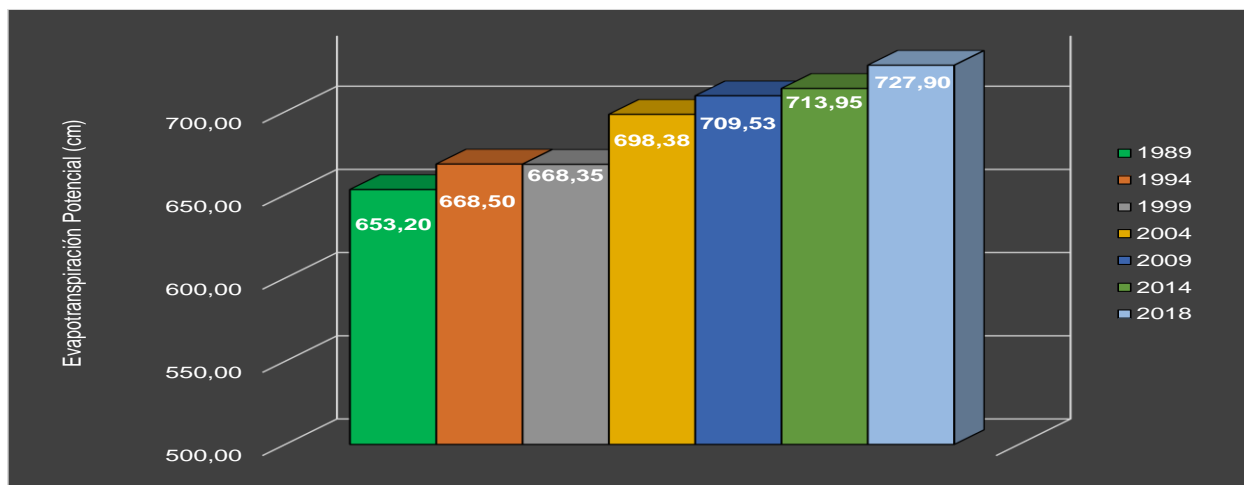
alturas de los cinturones bioclimáticos. Así mismo, los cultivos muy sensibles a temperatura ambiente tendrían que desplazarse, de lo contrario presentaría variaciones apreciables en su producción.



**Ilustración 6** Evapotranspiración potencial de los años 1989 y 2018.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Con lo anterior, en la ilustración 7 se muestran las pérdidas totales de agua por evapotranspiración potencial en una frecuencia quinquenal del periodo en estudio.



**Ilustración 7** Evapotranspiración potencial anual cada 5 años del periodo 1989-2018.

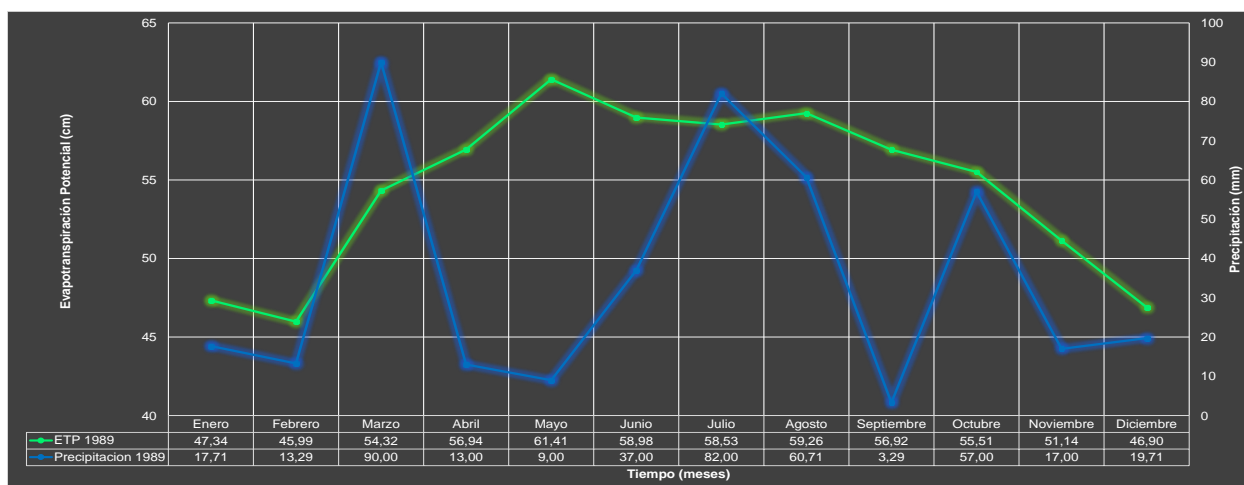
**Fuente:** Ramirez C, (2019)

De lo anterior, en promedio la ETP aumento en un grado de 12,45 cm/año es decir, la zona de estudio en volumen de agua pierde aproximadamente  $11 \times 10^9$  litros/año solo por



ETP. Así, por ejemplo CORTOLIMA (2018) afirma que una hectarea de maiz pierde diariamente 30 litros de agua por ETP. En consecuencia, el EL TIEMPO (2015) afirma que en el país corren 58 litros de agua por cada Km<sup>2</sup>, y que se pierde cerca del 16% anual por evaporación.

Los desplazamientos temporales de la ETP (Ilustración 8 y 9) y el comportamiento entrópico del mismo están asociados al incremento de la temperatura en la zona de estudio (Anexo 10). Para el año 1989 se registraban mayores intensidades de lluvia para los meses de marzo, julio y octubre por encima de 50 mm/mes. Mientras que, para el año 2018 se registraron las intensidades mayores en los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre por encima de 50 mm/mes. Por lo tanto, para la ETP en el año 1989 presentaba un incremento que iba desde marzo hasta agosto y disminuía desde agosto hasta enero, con un solo salto mayor a los 60 cm para el mes de mayo. En cambio, para el 2018 la ETP no sigue el mismo comportamiento anterior, sus registros muestran que fue casi estable todo el año con valores cercanos y por encima de los 60 cm y su mínimo valor solo se presenta en el mes de Diciembre. Además, se evidencia que las precipitaciones mayores se presentan con frecuencias en el mes de Julio (ver anexo, 12, 13, 14, 15, y 16) aunque registre un desplazamiento leve entre agosto y julio, se comprobó que para estos meses se registran las mayores intensidades totales.



**Ilustración 8** Evapotranspiración vs Precipitación, 1989

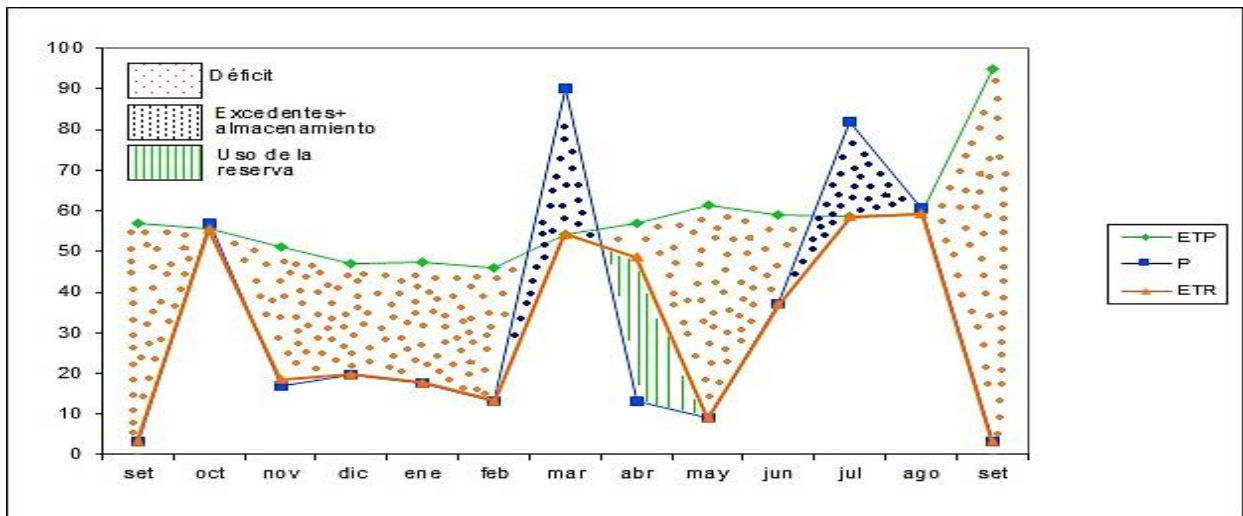
**Fuente:** Ramirez C, (2019)



**Ilustración 9** Evapotranspiración vs Precipitación, 2018

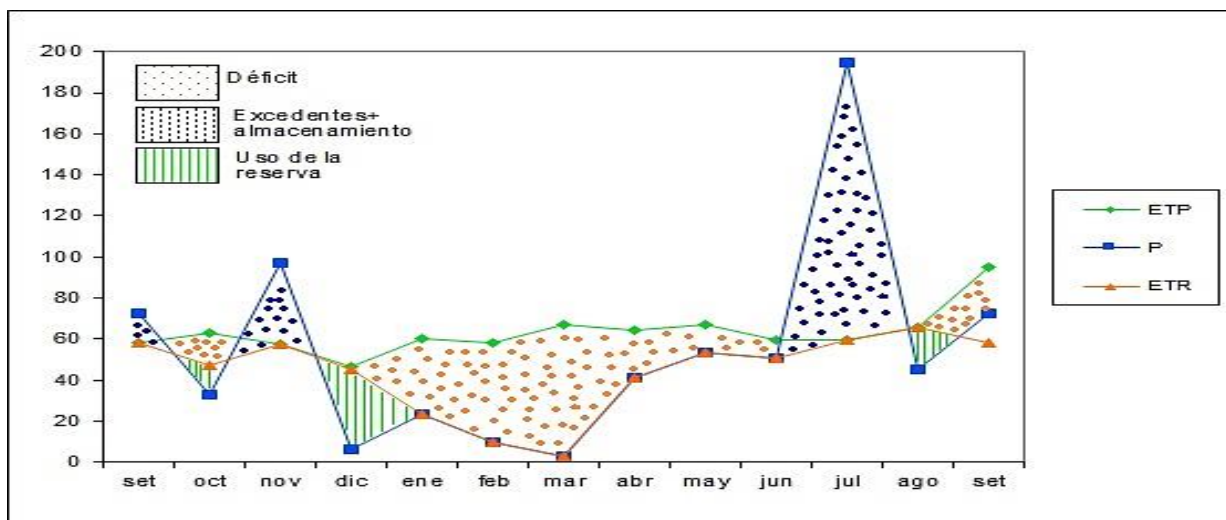
**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Por último, los resultados obtenidos del balance hídrico del suelo en la zona se presentan en las Ilustraciones 10 y 11, donde se evidencia que en el año 1989 el déficit de agua se presentó en dos periodos de Octubre a Febrero y de Abril a Junio; la reserva y excedentes se produjo en los meses de Marzo y Julio y, los usos de reserva producidas se gastaban solo en Abril.



**Ilustración 10** Balance de agua en el suelo, 1989.

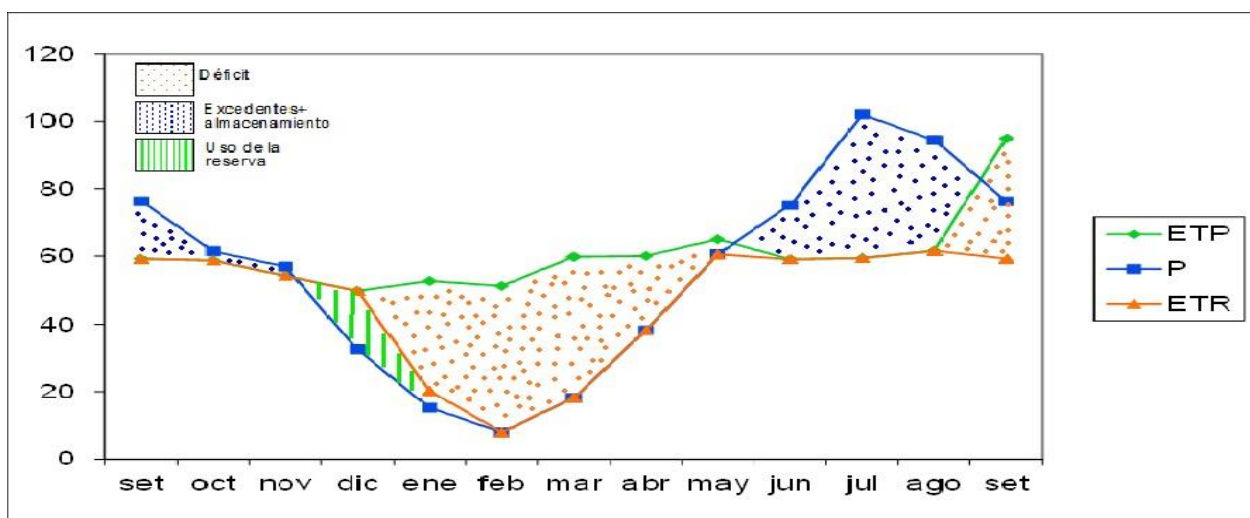
**Fuente:** Ramirez C, (2019)



**Ilustración 11** Balance de agua en el suelo, 2018.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

En la Ilustración 11 se muestra el balance de agua en el suelo presenta desplazamientos, el déficit se presenta desde Enero a Mayo y en menor grado para Octubre. Por otra parte, las reservas y excedentes se produjeron entre Julio y Agosto y en un menor porcentaje en Septiembre y Noviembre. Mientras que, el uso de las reservas producidas se generó en los meses de Enero, Agosto, Octubre y Diciembre.



**Ilustración 12** Balance de agua simulado para la serie de datos, 1989-2018.

**Fuentes:** Ramirez C, (2019)

De acuerdo con Tuñón Colom (2000), el método Thornthwaite aproxima la relación hasta un 80%. Sin embargo, si se contara con un instrumento de medición para la evaporación el porcentaje podría aumentar hasta un 15 % dando como resultado final un porcentaje de error de solo 5%. La ilustración 13 muestra el resultado final de una simulación desarrollada para el año 2019 con las precipitaciones y temperaturas medias de la serie de datos (1989-2018). Se observa que las reservas y excesos se presentarían entre Junio y Agosto y que los gastos de reservas se producirían desde Noviembre hasta enero.

#### 4.2. PARAMETROS FÍSICO-MORFOMÉTRICOS Y RECONOCIMIENTO.

Las características físico-morfométricas son de gran importancia en el estudio de una cuenca hidrográfica, debido que, permiten tener conocimiento de la respuesta hidrológica en función de los cambios topográficos y litosféricos de la formación inicial en la zona de estudio. Es decir, establecen una comparación y/o interpretación de los fenómenos que ocurren en la cuenca. La Tabla 15, muestra los resultados obtenidos para los cálculos de los parámetros físico-morfométricos de la microcuenca Curpagá.

Parámetro	Unidad	Símbolo	Valor Calculado	Descripción
Área	Km <sup>2</sup>	A	86,82	El área total de la microcuenca comprende el 80% del territorio del municipio de Cacota de Velasco. Esta aporta aguas superficiales en los periodos lluviosos y de reserva por infiltración en los periodos de estiaje.

Perímetro	Km	P	49,69	El perímetro calculado es el resultado del seguimiento de la línea divisoria de aguas de la microcuenca.
Longitud del cauce principal	Km	Lcp	10,62	El resultado final, es la longitud desde su nacimiento hasta el punto de desembocadura, siguiendo la sinuosidad del cauce.
Densidad de corrientes	ríos/Km <sup>2</sup>	Dc	1,09	De acuerdo con Villon (2000) la densidad de corrientes es en el número de corrientes perennes e inertes por cada km <sup>2</sup> .  El número de corrientes encontradas dentro de la delimitación de la microcuenca fue de 93.
Densidad de drenaje, Km/Km <sup>2</sup>	Km/Km <sup>2</sup>	Dd	1,8	Se encontró que la longitud de todos los cauces dentro de la microcuenca es de 152,89.  Por otra parte, para Villon (2000) este es un índice refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación en la cuenca hidrográfica y está relacionado con el tiempo de saluda del escurrimiento superficial de la cuenca.

Pendiente del cauce principal	%	Scp	9,2	De acuerdo con Taylor y Schwartz (1952), la pendiente es moderada. Así mismo, afirman que este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.
Coefficiente de compacidad	Adimensional	Kc	1,51	De acuerdo con Gravelius (1914) la forma de la microcuenca es oval oblonga a rectangular oblonga. El valor calculado indica una baja concentración de agua.
Factor de forma	adimensional	Kf	1,10	Según Horton (1945), el valor calculado describe una microcuenca de tipo achatada, lo cual indica una que los hidrogramas de caudales máximos no se ven afectados en el tiempo de concentración con relación a las avenidas máximas.
Índice de alargamiento	Adimensional	la	1,48	Para Horton (1945), el resultado de este parámetro es una microcuenca de tipo moderadamente alargada. De lo anterior se describe que la

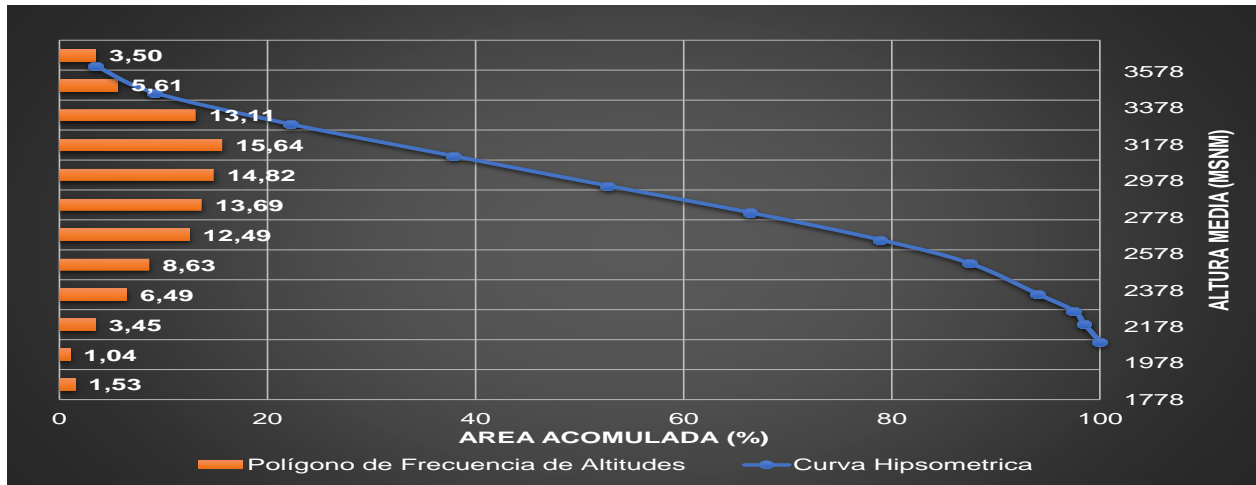
				red de drenaje de la microcuenca presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto
Elevación media de la microcuenca	msnm	Em	2853	El resultado calculado muestra una microcuenca de formación madura (Ver ilustración 14)
Pendiente media de la microcuenca	%	Sm	16,23	De acuerdo con Alvord y Horton (1945) el valor calculado describe una tipo de relieve accidentado.

**Tabla 15** Resultados de los parámetros físico-morfométricos de la microcuenca Curpagá.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

La configuración geométrica que se describe de los resultados calculados (Tabla 15) es la siguiente: La longitud del cauce principal está relacionada con el área de la microcuenca pero, se observa que la longitud del cauce es corta para la extensión que presenta la microcuenca, esto se debe, a que la formación de la red de acuerdo al índice de alargamiento es de tipo abanico según Horton (1945). A su vez, la densidad de corrientes y la densidad de drenajes muestran una relación que se describe según Perez Campomanes (2015) (ver anexo 17) como una microcuenca fácilmente erosionable, poco permeable y con pendientes fuertes (ver imagen 3 y 4). Por esta razón, la microcuenca presenta cambios topográficos a largo de su trayectoria sinusoidal. Por otra parte, la pendiente, el coeficiente de compacidad y el factor forma, muestran una relación directa. La primera variable (%) es de clasificación media, que a su vez está relacionada con la segunda variable ( $K_c$ ) presentando baja susceptibilidad a inundaciones según Graveluis (1914) y que por esta razón la tercera variable ( $K_f$ ) los caudales máximos no afectarán avenidas torrenciales de acuerdo con Horton (1945). Sin embargo los golpes

hidráulicos sobre las laderas son fuertes y el grado erosión sobre la misma con poder de arrastre es elevado.

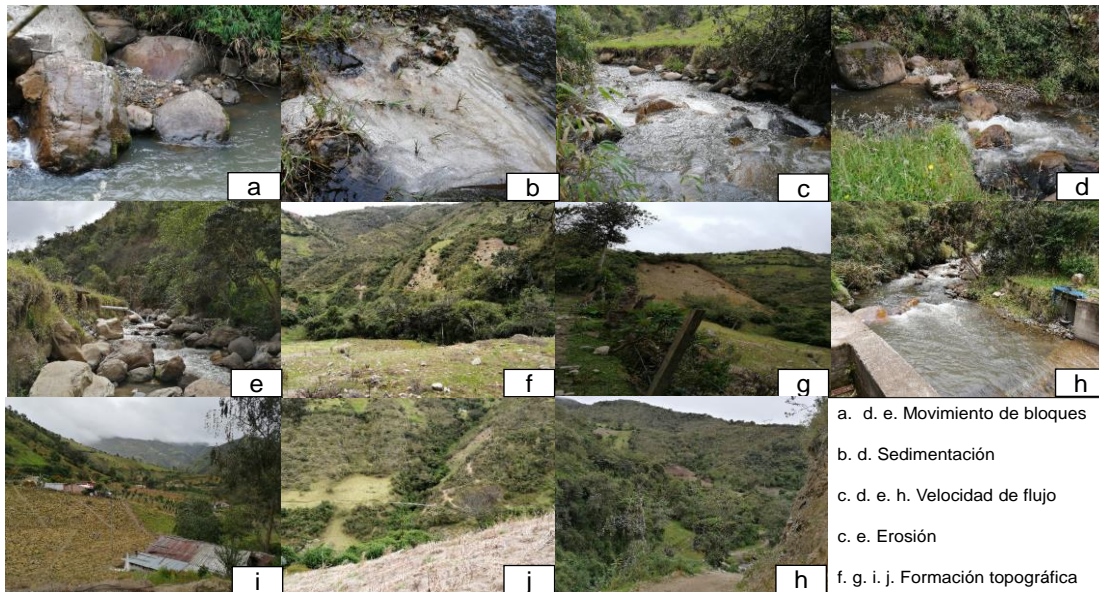


**Ilustración 13** Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

La Ilustración 14 muestra la variación del área drenada variando con la altura de la microcuenca, se observa que los polígonos de frecuencia con las alturas máximas y mínimas de la microcuenca se presentan sobre los 3178 msnm y los 1978 msnm respectivamente. Por otra parte, de acuerdo con STRAHLER (1952) la clasificación de la curva corresponde a un río maduro y la microcuenca se encuentra en una fase de equilibrio. De esta manera, confirma que, los resultados de  $K_f$ ,  $K_c$ ,  $S_m$ ,  $I_a$  y  $S_{cp}$  son correctos y directamente relacionables.





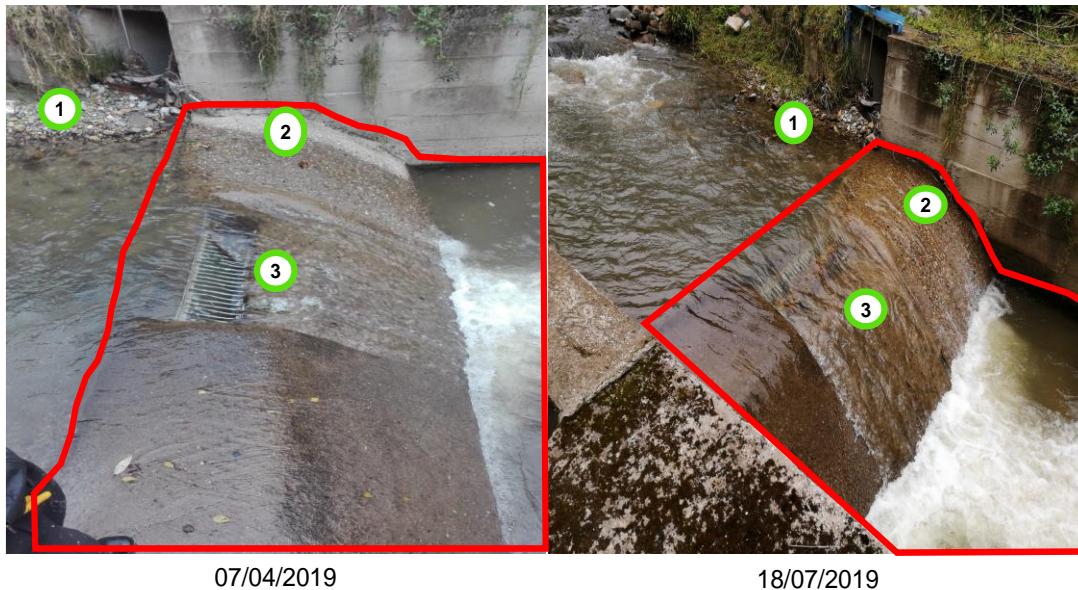
**Imagen 4** Fotografías de la zona de estudio.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)



**Imagen 5** Cambios en la zona de estudio.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)



**Imagen 6** Cambios en la zona de estudio

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

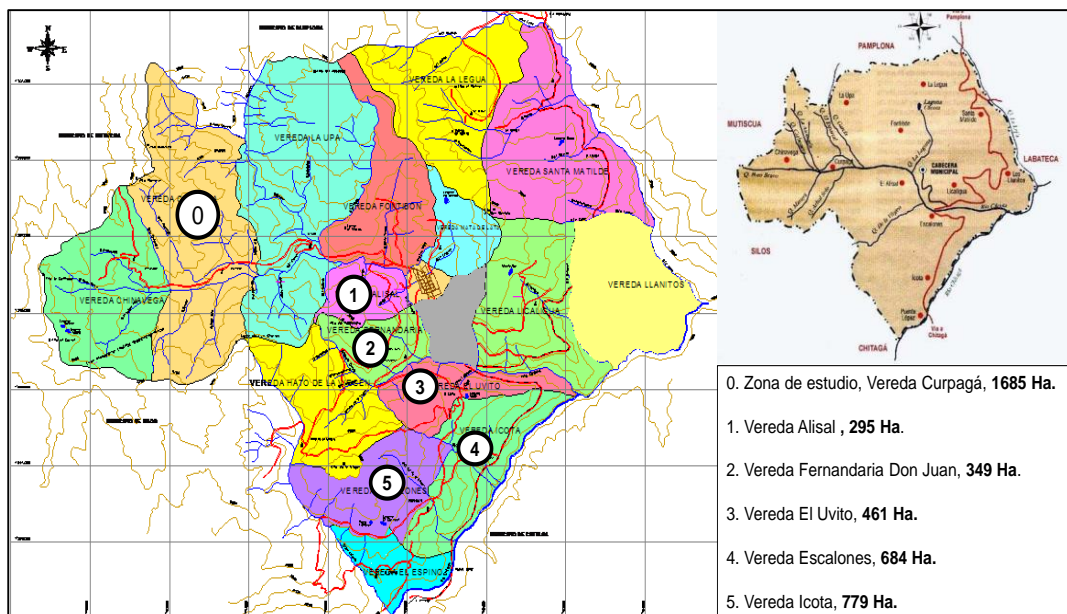
En la Imagen 4 y 5 se logra evidencia los cambios que significativos dentro de la zona en diferentes meses del año para el desarrollo del proyecto. El 07 Abril del 2019, cuándo se realizó la primera visita en la zona de estudio y, las condiciones meteorológicas del día eran favorables, cielo despejado con temperatura promedio de 20°C y baja probabilidad de lluvia, la altura de la lámina de agua justo antes de caer en la rejilla era de 17 cm (margen derecho) y 19 cm (margen izquierdo). Además, como se observa en el punto 3, se lograba observar claramente la rejilla gracias al color del agua, y, en los puntos 1 y 2 no se presenciaba contacto de agua. Sin embargo, el 18 de julio del 2019 cuando habían transcurrido un poco más de tres meses, se realizó otra visita de inspección. Para entonces, las condiciones meteorológicas no fueron favorables, nubosidad densa, con temperatura media de 15°C y probabilidad de lluvia. En efecto, las mediciones mostraron que la altura de la lámina de agua justo antes de caer en la rejilla era de 25 cm (margen derecho) y 27 cm (margen izquierdo). Así mismo, como se observa en el punto 3, la rejilla ya no era fácilmente visible, y en los puntos 1 y 2 se presenciaba contacto de agua. Por este motivo y de acuerdo a la imagen 5, se infiere un posible incremento del flujo con aumento de velocidad, el cual ocasiono el movimiento de bloques y asentamiento de los mismos cuando se realizaba el recorrido en la zona.



### 4.3. INFORMACIÓN DE USUARIOS HÍDRICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Inicialmente, para la creación del distrito de riego ASOCACOTA se contaba con 60 usuarios registrados de manera oficial. Tiempo después, el número de usuarios incrementó, en la actualidad se cuenta con 150 usuarios que se distribuyen entre las veredas Alisal, Fernandaria Don Juan, El Uvito, Escalones e Icota.

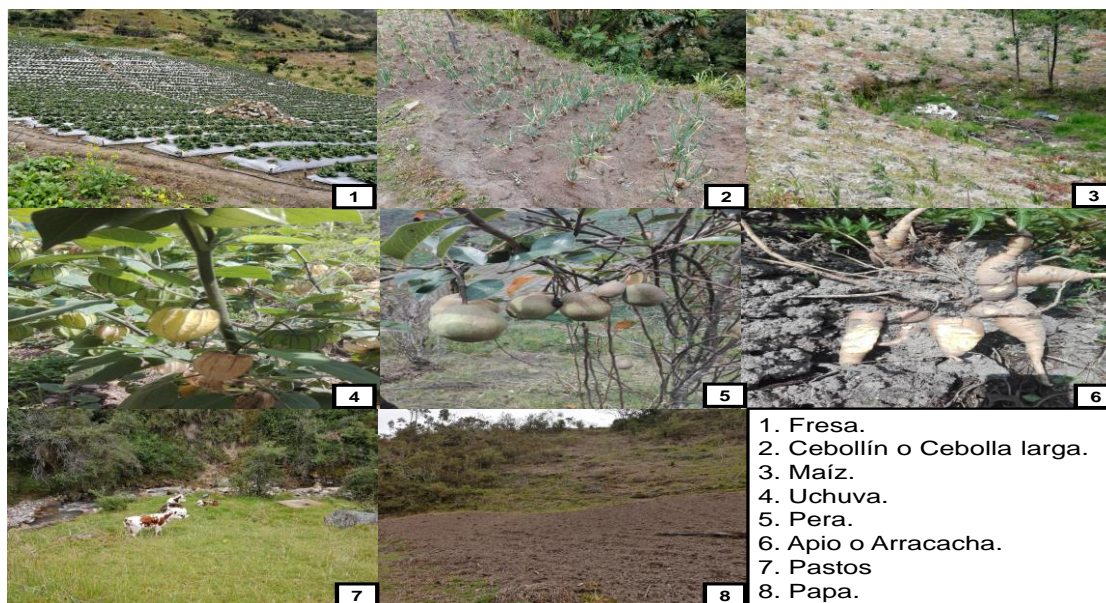
En este sentido, se lograron organizar visitas programadas solo con el 84% de los usuarios. Es decir que de los 150, solo 126 contestaron sus números de contacto y facilitaron la actividad (Anexo 18). Por otra parte, se lograron establecer 3 entrevistas adicionales con personas no pertenecientes a la asociación, pero que, viven en la zona de estudio hace más de 30 años.



**Imagen 7** Veredas existentes en el municipio de Cacota.

**Fuente:** Ramirez C, modificado del E.O.T Cacota-2001, (2019).

La imagen 6 muestra la ubicación de las veredas en las que se encuentran los usuarios de la asociación los cuales están distribuidos en las siguientes cantidades: 38 usuarios se encuentran en la vereda Alisal, 12 en la vereda Fernandaria Don Juan, 18 en la vereda El Uvito, 13 en la vereda Escalones y 45 en la vereda Icota. En esta última, se encuentra la mayor parte de usuarios debido que son los grandes productores de la zona.



**Imagen 8** Cultivos dentro de la zona de estudio.

**Fuente:** Ramirez C, (2019).

Además, se recibieron tres testimonios de la zona de estudio:

1. Reinaldo Jose Guerrero, 60 años: “Me genera gran tristeza, ver cómo está el río con ese poquitico de agua. Recuerdo cuando uno era un niño, jugaba con mis hermanos y primos en las orillas y mi papa nos regañaba porque decía que nos íbamos a caer al río y que no ahogáramos. Pues el río era muy grande (hace referencia a él volumen de agua que circulaba), para cruzarlo era por los puentes de tabla que construyo mi papa con otros señores y aun así era muy peligroso hacerlo solo. Pues siempre me daba miedo cruzar el puente. Ahora, uno se pone unas botas y pasa hasta caminando y no le pasa nada a uno. Porque ese chorrillo de agua ya no es ni la mitad de lo que era cuando yo tenía 10 añitos”.
2. Omar Vera Sierra, 55 años: “Pues el río era más grande, hacia más frio y se veían muchos animales feos por ahí. Mi papa era dueños de toda esta parte más esa de allá (hacía referencia a los terrenos pertenecientes a su familia). Entonces, después vendieron esta parte a una profesora y nos quedamos solo con la parte de acá. Y ya mucho después cuando murió mi mamá pues nos dejaron un pedazo a cada uno de mis hermanos y yo y el resto lo vendieron. Después llegaron unos

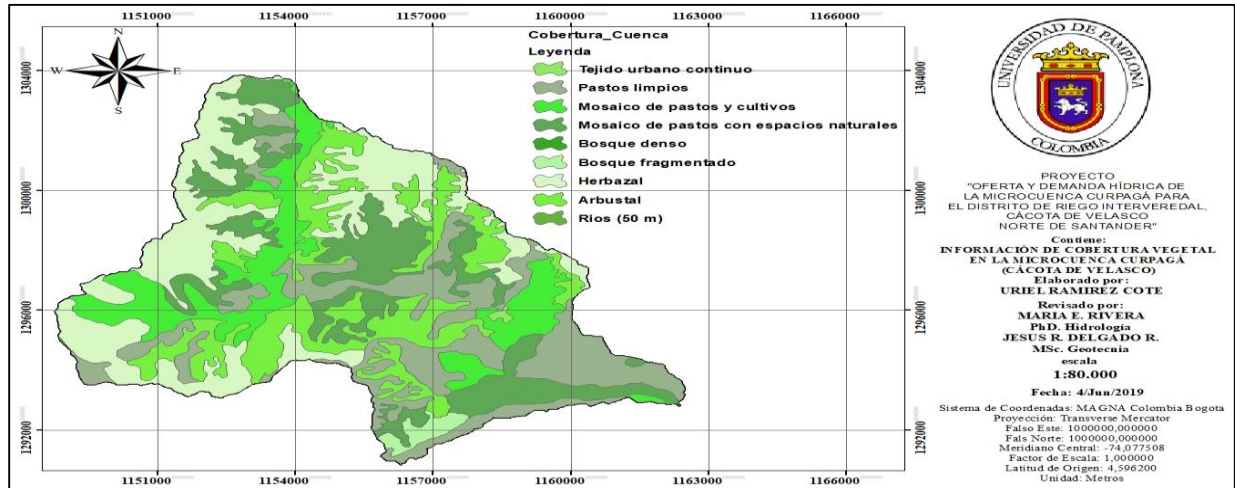
señores, con unas máquinas peló eso ella, comenzaron a sembrar y sembrar y eso echaba unos humos todos los días en la tarde. Era como pa espantar las aves que se comían los frutos. Y ya después el agua del río se comenzó como a oler feo en un tiempo y el color era como gris y café. Yo trabajo acá para las tierra de una profesora, cuidando y cultivando cositas pocas. Mis tierra me toco venderlas pa poder comer”.

3. Francisco Villamizar, 58 años: “Pues que le digo yo mi chinito, yo salía con mis hermanos a pescar, porque de eso dependía mi familia. Eso uno iba en una tarde y cogía unas truchas grandotas. Tenían un sabor delicioso porque eran así del río que se criaban ellas solas, ahora que le toca a uno tener un tanque para hacerlas crecer pero cogen un sabor como a barro feo. De cultivos no, yo vendí mi finca allá arriba y ahora vivo acá en esta casita con mi esposa, y vendo gasolina. Si claro antes uno no podía salir sin la ruana porque eso era un frío lo arrecho, ahora le da uno es como calor de tenerlas al medio día”.

#### **4.4. OFERTA HÍDRICA, DEMANDA HÍDRICA E ÍNDICE DE ESCASEZ DE LA MICROCUENCA CURPAGÁ.**

##### Oferta

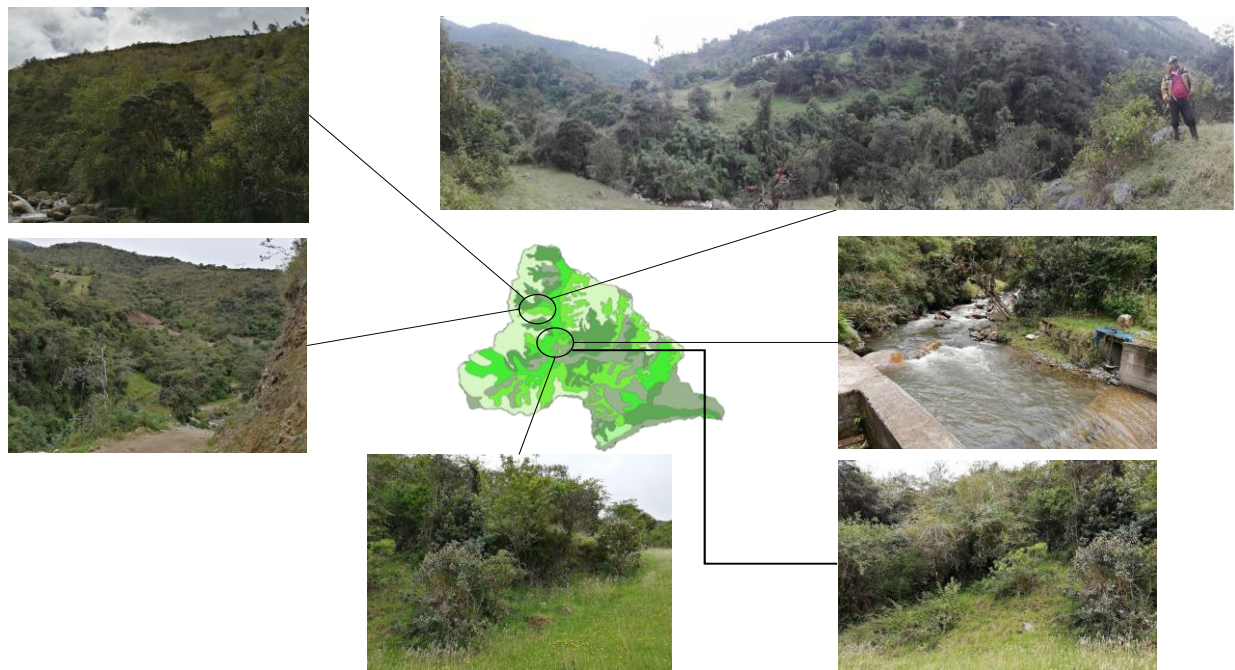
De acuerdo con el monitoreo de suelos y coberturas de la tierra en Colombia registrado por el IDEAM. La cobertura vegetal (Imagen 8 e Ilustración 16) con mayor abundancia dentro de la zona de estudio son Herbazales, con un total de 2069,19 Ha.



**Imagen 9** Cobertura de la tierra en la zona de estudio.

**Fuente:** Ramirez C, modificado en ArcGIS, (2019)

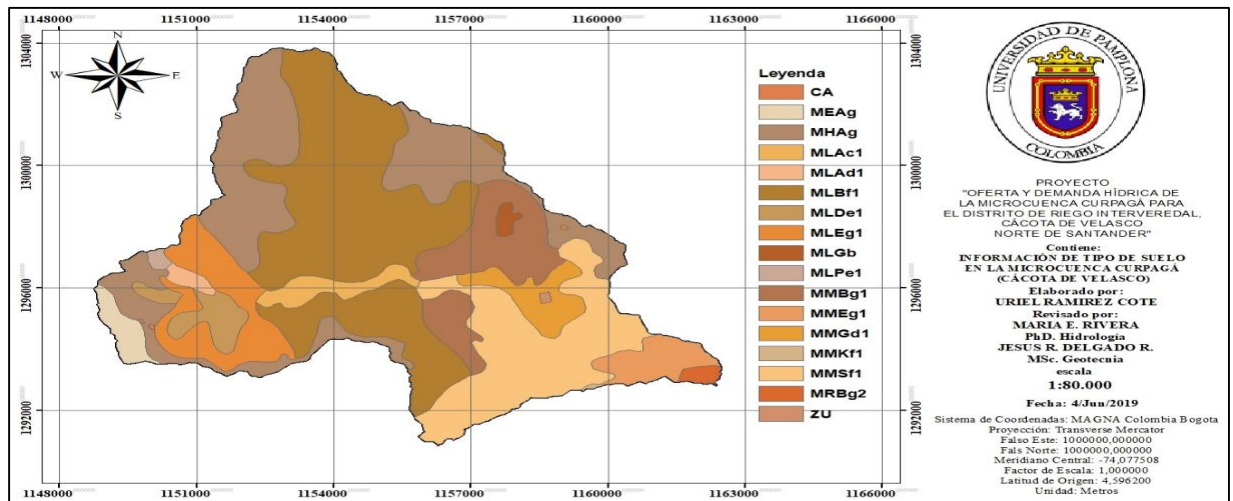
La imagen 8 se comparó con el registro fotográfico de la zona de estudio (ver Imagen 9). El resultado final, es un paisaje coincidente con las descripciones obtenidas en esta imagen. Razón por la cual, se adoptó el porcentaje de área obtenido a partir de la imagen 8, para el cálculo del número de curva.



**Imagen 10** Fotografías de la cobertura dentro de la zona de estudio.

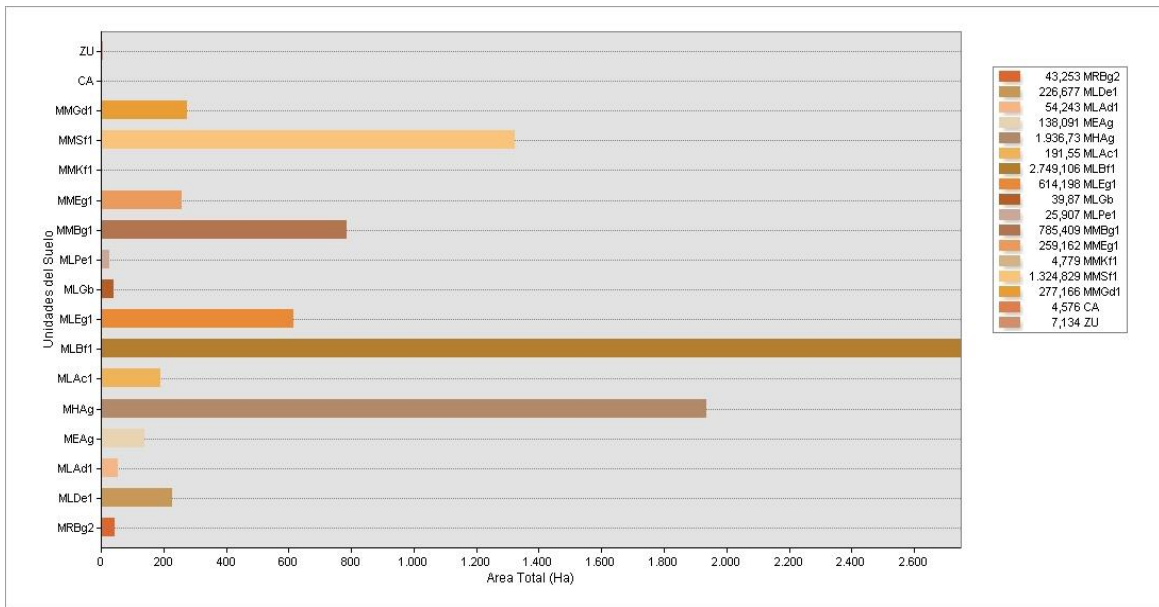
**Fuente:** Ramirez C, (2019)





**Imagen 11** Tipos de suelos dentro de la zona de estudio.

**Fuente:** Ramirez C, modificado en ArcGIS (2019)



**Ilustración 14** Área de los tipos de suelos dentro de la zona de estudio.

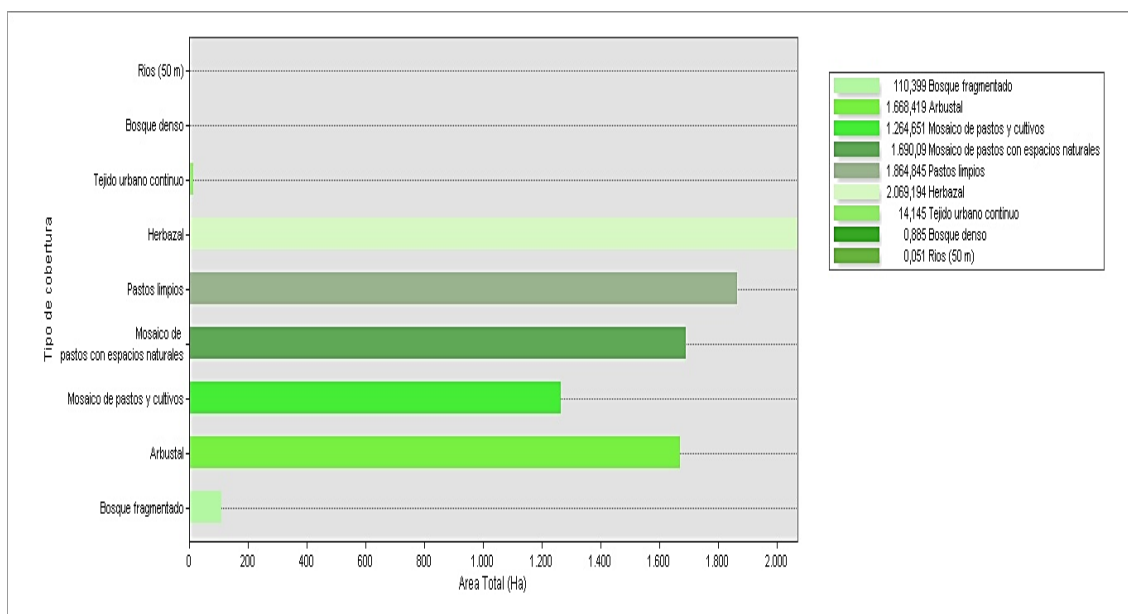
**Fuente:** Ramirez C, modificado en ArcGIS, (2019)

De acuerdo con el capítulo 3 del estudio general de suelos en Norte de Santander (2011). La clasificación del suelo en la zona de estudio (Imagen 10 e Ilustración 15) varía sobre un paisaje montañoso en toda su extensión pero, el mayor porcentaje de área del suelo (2749,10 ha) encontrado es moderadamente profundo, bien drenado y texturas franco

arenoso a franca. Además, la litología que se describe de este suelo son granitos. Sin embargo, se encuentra en menor proporción areniscas, gneiss y esquistos.

En este sentido, de acuerdo a lo anterior y la clasificación por grupos hidrológicos del suelo del SCS (Tabla 2 y 3). La zona de estudio presenta un grupo hidrológico de suelo tipo A.

Por otra parte, de la Ilustración 16 se infiere con relación de la Tabla 4, que la condición hidrológica del suelo es buena para pastos y regular para bosques en la zona de estudio.



**Ilustración 15** Áreas de la cobertura vegetal dentro de la zona de estudio.

**Fuente:** Ramirez C, modificado en ArcGIS, (2019)

Por último la condición de humedad antecedente que se encuentre de acuerdo a la lectura del mapa del Índice de Retención Hídrica (Anexo 19) y la precipitación acumulada para los tres niveles de condición fue una condición tipo II para una temporada inactiva con una precipitación acumulada entre 0.5 a 1.1 que varía con IRH moderado y alto entre 0.65-0.85.

De esta manera y de acuerdo a la Resolución 0865 (2004), se determinó el número de curva para cada una de las coberturas de la zona (Tabla 16) teniendo en cuenta el tratamiento y la condición.



COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	GRUPO DE SUELOS TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROCLOGICA	NUMERO DE CURVA (A)
Cultivos en hileras	Curvas de nivel y terrazas	Buena	62
Cultivos en hileras estrechas	Curvas de nivel	Buena	61
Leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación	Curvas de nivel y terrazas	Buena	51
Pastos de pastoreo	-	Buena	39
Bosque	-	Regular	36

**Tabla 16** Determinación del número de curva para la zona de estudio

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Seguidamente, el cálculo del número de curva ponderado (CNII) para el área de la cuenca se realizó con el área correspondiente a cada uno de los tipos de vegetación (Imagen 8).

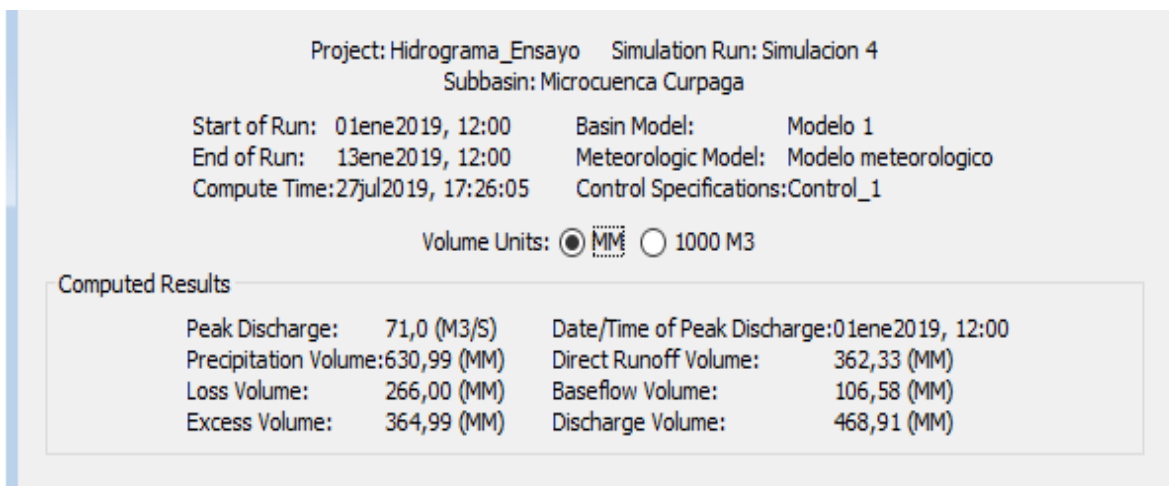
Valor	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje	CN	Calculo
Bosque fragmentado	1,10	1,27	36	39,74364
Arbustal	16,68	19,22	36	600,6308
Mosaico de pastos y cultivos	12,65	14,57	62	784,0836
Mosaico de pastos con espacios naturales	16,90	19,47	39	659,1351
Pastos limpios	18,65	21,48	39	727,2896

Herbazal	20,69	23,83	51	1055,289
Tejido urbano continuo	0,14	0,16	39	5,51655
Bosque denso	0,01	0,01	36	0,3186
	86,83	100		3872,01
<b>Numero de Curva CN=</b>				<b>44,59</b>

**Tabla 17** Numero de curva ponderado para la microcuenca Curpagá.

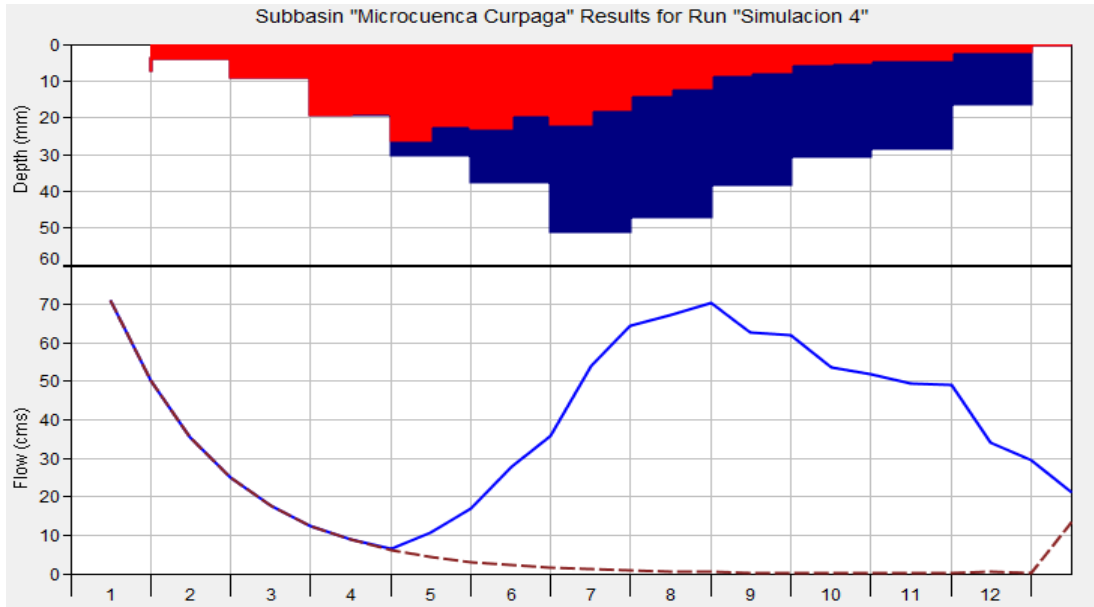
**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Después de obtener todo los resultados anteriores, se procedió a la construcción del hietograma e hidrograma para obtener un volumen de agua almacenado y un caudal pico descargado en la cuenca.



**Imagen 12** Resultados de la simulación para la obtención del caudal pico descargado y el volumen de agua almacenado

**Fuente:** Ramirez C, (2019)



**Ilustración 16** Hietograma e hidrograma de la microcuenca Curpagá.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

De acuerdo a la Imagen 11 y la Ilustración 16, sobre la microcuenca Curpagá se precipitan anualmente 630,99 mm de agua. De este valor y, de acuerdo al número de curva promedio calculado, se pierden 266 mm de agua correspondientes al 42,16% del valor inicial. El valor restante (57,84%) se considera exceso de lluvia, convirtiéndose entonces en escorrentía directa (Precipitación efectiva). Sin embargo, para el año siguiente la escorrentía solo retornaría con una precipitación de 362,33 mm, es decir que la microcuenca pierde anualmente cerca del 3% de la lámina de agua del año anterior. Como se ha mostrado, el comportamiento del hidrograma y el retorno de lluvia al año siguiente, coinciden con los artículos publicados por el SIAC (2015) y con los modelos realizados por el IDEAM, donde muestra en diferentes escenarios los porcentajes de agua que se pierden anualmente en el país.

	Valor	Unidad	Equivalencia	Unidad
Precipitación anual	630,99	Mm	0,63099	m
Precipitación efectiva	364,99	Mm	0,36499	m
Área total	86,82	Km <sup>2</sup>	86820000	m <sup>2</sup>
<b>Oferta hídrica total/año</b>			<b>31688431,8</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

**Tabla 18** Oferta hídrica superficial de la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

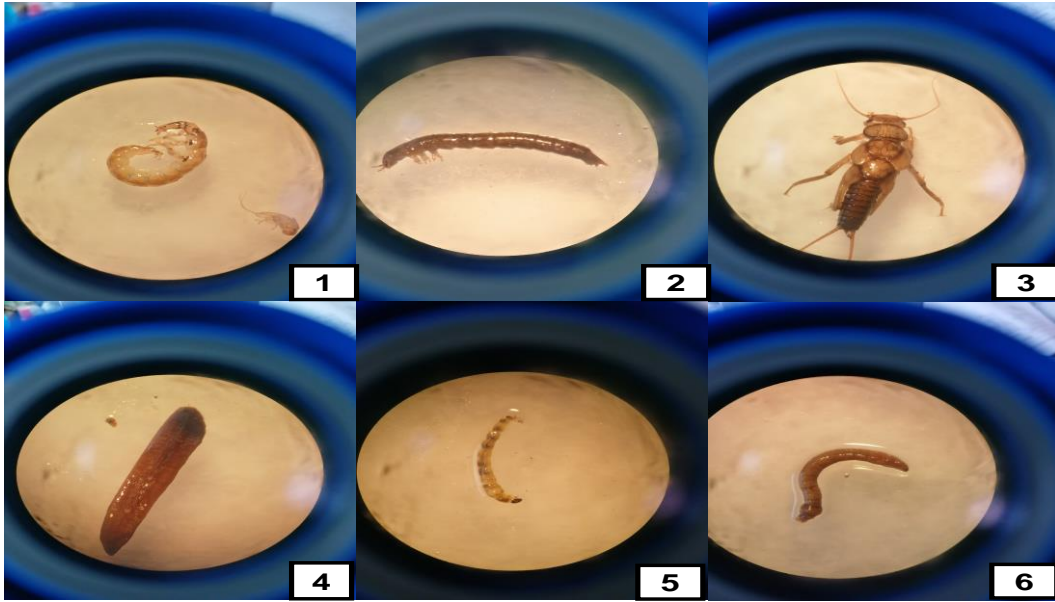
En otras palabras, la microcuenca Curpagá ofrece como recurso hídrico superficial para un año actual 31'688.431,8 millones de metros de cúbicos (Mm<sup>3</sup>) (Tabla 18). Sin embargo, a este resultado debe aplicarse dos descuentos correspondientes a calidad del agua y caudal ecológico.

Para la reducción por calidad del agua se obtuvieron los siguientes resultados:

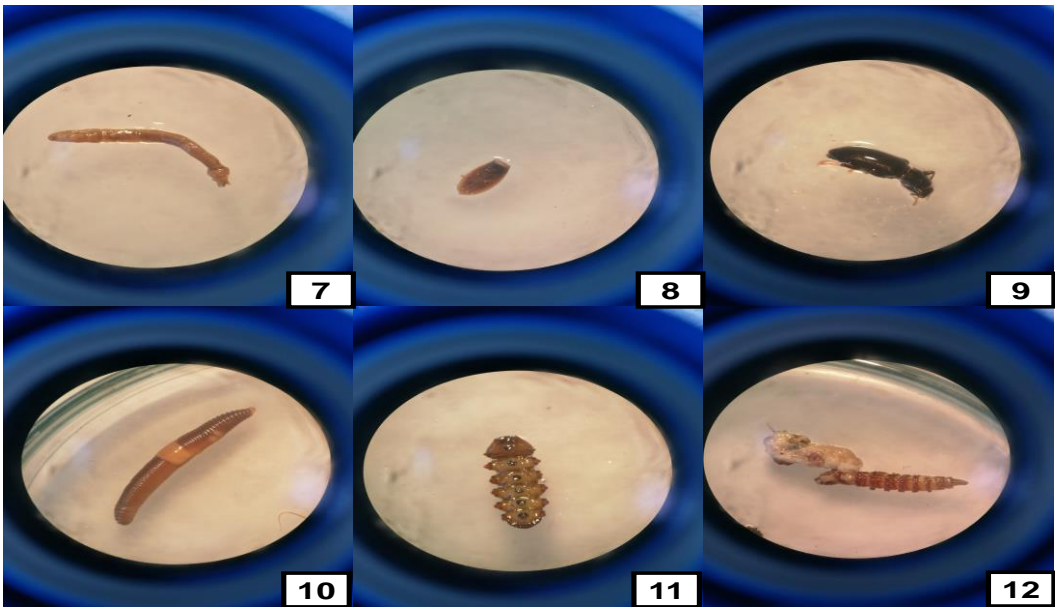


**Imagen 13** Recolección de macroinvertebrados en la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, (2019)



**Imagen 14** Identificación de macroinvertebrados de la microcuenca Curpagá  
**Fuente:** Ramirez C, (2019)



**Imagen 15** Identificación de macroinvertebrados de la microcuenca Curpagá  
**Fuente:** Ramirez C, (2019)

En total se recolectaron 59 individuos y, se identificaron 12 familias de macroinvertebrados (Imagen 13, 14 y 15). La clasificación se describe a continuación en la Tabla 19.

Numero	Orden	Familia	Hábitat
1	Trichoptera	Hydrobiosidae	Aguas corrientes frías, muy oxigenadas. Indicadores de aguas oligotróficas.
2	Coleoptera	Ptilodactylidae	En márgenes de los arroyos sobre las plantas herbáceas.
3	Ephemeroptera	Baetidae	Aguas rápidas, debajo de troncos, rocas, hojas y adheridos a la vegetación. Indicadores de aguas ligeramente contaminadas.
4	Glossiniphormes	Glossiniphormidae	Aguas de bajas corrientes, con altas concentraciones de materia orgánica en descomposición. Sobre troncos, rocas, plantas y residuos vegetales.
5	Diptera	Chironomidae	Aguas loticas y lenticas, en fango, arena y con abundante materia orgánica en descomposición. Indicadores de aguas mesotróficas.
6	Diptera	Simuliidae	Aguas corrientes muy oxigenadas, debajo de rocas y troncos. Indicadores de aguas oligotróficas.
7	Diptera	Tipulidae	Aguas loticas y lenticas con fango y materia orgánica en

			descomposición. Indicadores de aguas mesotróficas.
8	Tricladida	Planariidae	Debajo de los troncos, piedras, ramas, hojas y sustratos similares, en aguas poco profundas, tanto corrientes como estancadas. Aguas levemente contaminadas.
9	Coleoptera	Elmidae	De aguas lóxicas, poco profundas y ocasionalmente en lagunas y charcas. Adheridos a troncos, hojas, rocas y gravas en descomposición.
10	Haplotaxida	Haplotaxidae	Aguas eutrofizadas, sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de detritus.
11	Diptera	Blepharoceridae	Aguas lóxicas, cascadas, aguas muy oxigenadas y limpias. Indicadores de aguas oligotróficas.
12	Diptera	Tabanidae	Aguas y corrientes estancadas con materia orgánica en descomposición. Indicadores de aguas mesotróficas.

**Tabla 19** Identificación y descripción de los macroinvertebrados encontrados en la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Roldan Perez, (1985)

Seguendo la metodología para la puntuación asignada en función del grado de sensibilidad a la contaminación de las familias encontradas se obtuvieron los siguientes resultados (ver Anexo 20).

<b>Familias encontradas</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Puntaje total</b>
Ptilodactylidae		
Haplotaxidae	10	30
Blepharoceridae		
Hydrobiosidae	9	9
Simulidae	8	8
Baetidae		
Glossiniphormidae	7	21
Planariidae		
Elmidae	6	6
Tabanidae	5	5
Tipulidae	3	3
Chironomidae	2	2
<b>Total</b>		<b>84</b>

**Tabla 20** Puntaje de las familias de macroinvertebrados por el IBMWP/Col

**Fuente:** Ramirez C, modificado de (Roldan Perez, 2003)

Además del análisis de calidad del agua por identificación de macroinvertebrados se obtuvieron los siguientes resultados de una prueba físico química para uso agrícola.



Parámetro	Unidades	Máximo Valor admisible	Valor obtenido	Resultado
<b>Fisicoquímico</b>		<b>FAO</b>		
pH	Unidades de pH	6.5-8.4	6.85	Cumple
Conductividad	μS/cm	3000	55,4	Cumple
Calcio	mg/l	20	5,95	Cumple
Sodio	mg/l	40	3,89	Cumple
Magnesio	mg/l	5	1.02	Cumple
Potasio	mg/l	2	3.27	No cumple
<b>Microbiológico</b>		<b>Decreto 1594 de 1984</b>		
Hierro	mg/l	5.0	1.29	Cumple
Coliformes totales	NMP	5000	1100	Cumple
Coliformes fecales	NMP	1000	240	Cumple

**Tabla 21** Resultados de los parámetros físicos químicos y microbiológicos de la Quebrada Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

El potasio es el único parámetro que se encuentra por encima del máximo valor admisible. De acuerdo, con PROMIX (2018) el potasio es el tercer nutriente mas importante para el desarrollo vegetativo de las plantas seguido del nitrógeno y el fósforo. Sin embargo, el exceso o déficit de potasio en un cultivo es la causa de las marchitez temprana de la plantas (Clorosis).

Como se ha mostrado, las fuentes causales de la contaminación sobre la microcuenca Curpagá según la Resolución 0865 (2004), son el escurrimiento de aguas en zonas de producción agrícola y ganadera y, las aguas procedentes de extracción minera. A su vez, según el IBMWP/Col el rango del índice de las familias de macroinvertebrados encontrados es de CLASE II y, de calidad ACEPTABLE, indicando que son aguas ligeramente contaminadas y en la escala de colores es verde (Ver anexo 21).

Finalmente, se adopta un descuento del 10% por calidad del agua a la oferta hídrica superficial. De esta manera se obtiene el siguiente valor (Tabla 22).

	Valor	Unidad	Equivalencia	Unidad
Precipitación anual	630,99	mm	0,63099	M
Precipitación efectiva	364,99	mm	0,36499	M
Área total	86,82	Km <sup>2</sup>	86820000	m <sup>2</sup>
Oferta hídrica total/año			31688431,8	m <sup>3</sup>
Descuento por calidad de agua		10%	3168843,18	m <sup>3</sup>

**Tabla 22** Resultado de descuento por calidad del agua.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Para la reducción por caudal ecológico se obtuvieron los siguientes resultados:

Con base en la información disponible para el desarrollo del estudio, y la información recolectada en campo se, adoptó la metodología de Porcentaje de descuento mencionada en el apartado 2.2.2 (Tabla 6).

	Valor	Unidad	Equivalencia	Unidad
Precipitación anual	630,99	Mm	0,63099	m
Precipitación efectiva	364,99	Mm	0,36499	m
Área total	86,82	Km <sup>2</sup>	86820000	m <sup>2</sup>
Oferta hídrica total/año			31688431,8	m <sup>3</sup>
Descuento por calidad de agua		10%	3168843,18	m <sup>3</sup>
Descuento por caudal ecológico		25%	7922107,95	m <sup>3</sup>

**Tabla 23** Resultado de descuento por calidad del agua

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Finalmente, la Tabla 24 muestra el resultado de la oferta hídrica neta de la microcuenca Curpagá.

	Valor	Unidad	Equivalencia	Unidad
Precipitación anual	630,99	mm	0,63099	m
Precipitación efectiva	364,99	mm	0,36499	m
Área total	86,82	Km <sup>2</sup>	86820000	m <sup>2</sup>
Oferta hídrica total/año			31688431,8	m <sup>3</sup>
Descuento por calidad de agua		10%	3168843,18	m <sup>3</sup>
Descuento por caudal ecológico		25%	7922107,95	m <sup>3</sup>
<b>Oferta hídrica neta total/año</b>			<b>20597480,67</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

**Tabla 24** Resulta de la oferta hídrica neta de la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

## Demanda

El escenario seleccionado para desarrollar los cálculos de la demanda es el escenario dos mencionado en el apartado 2.2.2. (Tabla 7). Sin embargo de acuerdo a la Resolución 0865 (2004), se debe estimar el resto del gasto con una aproximación del crecimiento del sector por el cual sea consumido el recurso hídrico (Demanda por Uso Agrícola – DUA). Además, como se mencionó anteriormente los valores del coeficiente de cultivo (Kc), fueron obtenidos de la guía para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos. Los resultados se muestran a continuación (Tabla 25).

<b>Cultivo</b>	<b>Coeficiente de cultivo (Kc)</b>
Durazno	1,1
Arracacha	1,15
Papa	1,15
Cebollín	1,05
Frijol	1,05
Apio	1,05
Ciruelo	1,1
Fresa	0,85
Cebolla	1,05
Maíz	1,2
Arveja	1,05
Uchuva	1,15
Breva	1,1
Papa criolla	1,15

Curuba	1,1
Tomate de árbol	1,1
Pasto	0,85
Zanahoria	0,95

**Tabla 25** Coeficientes de cultivo para los cultivos encontrados en la microcuenca Curpagá.

**Fuente:** FAO, (2006)

En la Tabla 26, se observa el número de hectáreas totales de cada cultivo, las cuales fueron sumadas de acuerdo al tipo de cultivo pero, únicamente para el número de usuarios que se lograron entrevistar.

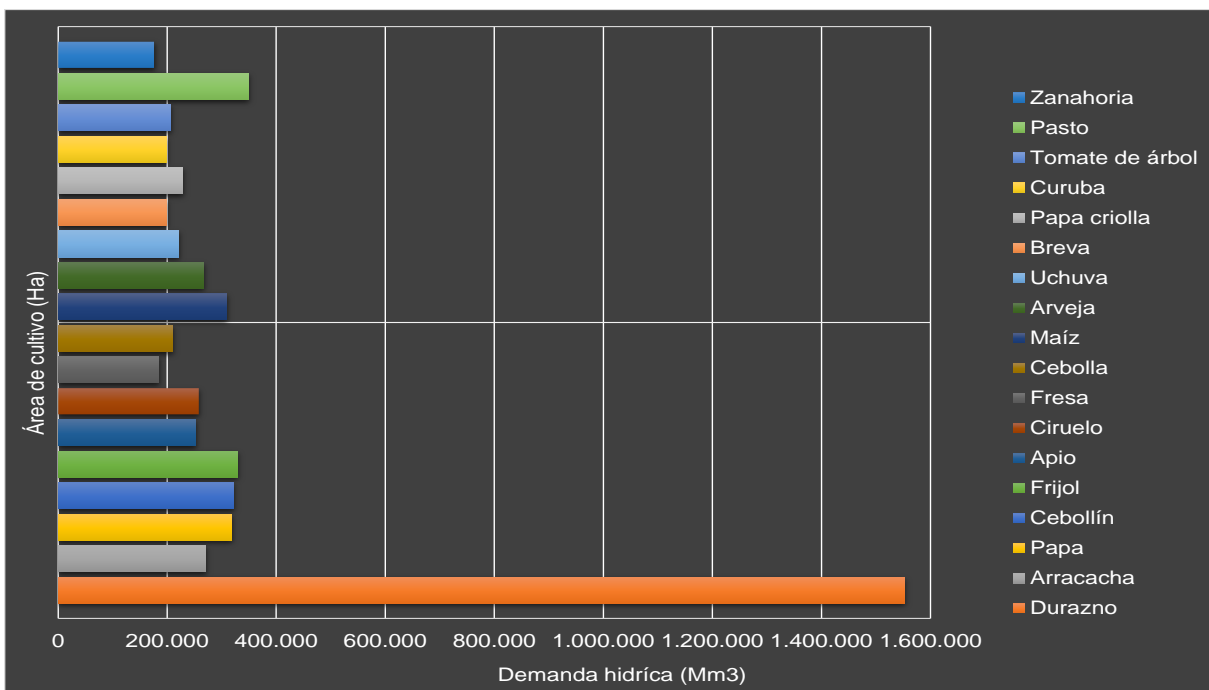
Cultivo	Área total (Ha)
Durazno	210,5
Arracacha	35,0
Papa	41,0
Cebollín	46,0
Frijol	47,0
Apio	36,0
Ciruelo	35,0
Fresa	33,0
Cebolla	30,0
Maíz	38,0
Arveja	38,0

Uchuva	28,5
Breva	27,0
Papa criolla	29,5
Curuba	27,0
Tomate de árbol	28,0
Pasto	63,0
Zanahoria	28,0

**Tabla 26** Área total de los cultivos dentro de la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

Finalmente, se obtuvieron los resultados del cálculo para cada uno de los cultivos (Ver anexo 22) y se estimó la demanda hídrica (Ilustración 17).



**Ilustración 17** Demanda hídrica por cada cultivo dentro de la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

La demanda total calculada corresponde solo al 84% de los usuarios adscritos al distrito de riego. Por esta razón, de acuerdo a la Resolución 0865 (2004), se realizó una estimación que aproximada de gasto hídrico para el 16% faltante (Tabla 27).

<b>Demanda por uso agrícola</b>	
Total/año	5851397,7
Estimación 16%	936223,63
<b>Total neta/año</b>	<b>6787621,34</b>

**Tabla 27** Estimación de la demanda neta para la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

### Índice de escasez

En la Tabla 28, se evidencian los cálculos dos índices de escasez. El primero contempla solo la oferta neta y de la demanda total, mientras que el segundo contempla la oferta y demanda neta.

<b>Índice de escasez</b>		
1	Oferta neta-Demanda total	9,94%
2	Oferta neta- Demanda neta	11,53%

**Tabla 28** Índice de escasez para la microcuenca Curpagá

**Fuente:** Ramirez C, 2019

Los índices de escasez calculados, de acuerdo a la Resolución 0865 (2004) se interpretan de a la Tabla 7 mencionada en el apartado 2.2.2. El primero se encuentra en la categoría mínimo (verde), aludiendo que la demanda es muy baja mientras que, el segundo se encuentra en la categoría medio (amarillo), indicando que la demanda es baja. De cualquier manera, solo se logró comprobar la veracidad del primer índice ya que, el segundo corresponde a una aproximación basada en un porcentaje de posible

consumo. Sin embargo, el primer índice está próximo a entrar en la siguiente categoría (medio-amarillo) por lo cual, el índice de escasez de la microcuenca a nivel general es medio.

De acuerdo con Costa Posada, Dominguez Calle, Gonzales Rivera, & Vanegas Sarmiento (2005), el índice de escasez es una alerta para orientar y establecer medidas de gestión y administración del recurso hídrico. Sin embargo cuando el índice se acerque al 20% (umbral recomendado por el programa hidrológico internacional de la UNESCO) se deben establecer escenarios con tendencias que permitan avanzar un desarrollo sostenible y evitar los conflictos por el agua.

#### 4.5. CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS

El caudal mínimo o ecológico (Ecuación 8) calculado para la quebrada Curpagá se muestra en la Tabla 29.

Precipitación promedio anual	Área	Caudal mínimo o ecológico	
(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s)
630,99	86,82	0,054783	54,783

**Tabla 29** Caudal mínimo o ecológico de la quebrada Curpagá.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

De acuerdo con la Tabla 29, el caudal mínimo o ecológico para el sostenimiento de los ecosistemas en la quebrada Curpagá es de 54,783 l/s. Por otra parte, según Poveda Jaramillo et al (2002), los caudales mínimos son producidos generalmente por la descarga de agua desde los acuíferos hacia la red de drenaje, mecanismo particularmente importante durante las temporadas donde se presenta una disminución en la lluvia. Así mismo, que existe, una fuerte linealidad entre el caudal mínimo y el área de la cuenca y de la misma manera, una fuerte correspondencia entre el caudal mínimo y una componente climática, como es la precipitación y la evaporación. Por lo anterior, se confirma que al implementar la precipitación como el principio básico en la estimación



del caudal mínimo, el resultado obtenido es tan confiable como como una medición directa sobre la quebrada Curpagá.

El caudal máximo (Ecuación 9) en cada periodo de retorno calculado para la quebrada Curpagá se muestra en la Tabla 30.

Precipitación promedio anual	Área	Coefficiente a	Periodos de retorno	Caudal máximo	Caudal máximo
(mm)	(Km <sup>2</sup> )	Adimensional	(años)	(m <sup>3</sup> /s)	(l <sup>3</sup> /s)
630,99	86,82	0,1282167988	5	26,8632	2686,32
			10	115,7689	11576,89
			25	233,2958	23329,58
			50	322,2014	32220,14
			100	411,1071	411,10,71

**Tabla 30** Caudales máximos en diferentes periodos de retorno para la quebrada Curpagá.

**Fuente:** Ramirez C, (2019)

De acuerdo con Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz (2014), este metodo de estimacion de caudales maximo es tan confiable como el metodo racional usado para la ingenieria de obras hidraulicas, ya que, las ecuaciones propuestas asumen que la precipitacion promedio anual es el principal parametro considerado para evaluar la escorrentia de una cuenca.

Por otra parte, LA OPINION (2015) publico un articulo el 15 de julio del 2015 donde comunicó al publico nacional, el estado de los habitantes del municipio de Cacota, debido que, en el municipio presentaba en la epoca azotamiento de lluvia con mas de

dos meses (Junio y Julio). La presencia de las fuertes lluvias provoco aumento del flujo en todos los cuerpos hidricos, que en la parte media de la cuenca del rio Cacota logró inundar algunos cultivos y provocar daño sobre las viviendas ubicadas en la orilla del cauce. Del mismo modo, CARACOL RADIO (2015) comunicó el 24 de julio del 2015 al publico oyente, que, según los reportes de los organismos de socorro se presentaron varios deslizamientos en menos de 12 horas sobre los municipios Pamplona, La Bateca, Cacota, Chitaga y Toledo, quienes eran los municipios mas afectados por las fuertes lluvias del suroccidente norte santanderiano.

De esta manera, como se ha mostrado el caudal maximo esta relacionado con la frecuencia con que se estan presentando los eventos de la precipitacion, lo cual se corrobora con lo dicho por Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz (2014). En consecuencia, de acuerdo a los resultados obtenidos y la fecha del ultimo evento, se tiene un 97% de probabilidad que se presenten intensas lluvias para el año 2020 con un periodo de retorno de 5 años.

## CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a la Ley 373/1997 el comportamiento de los niveles de caudales en la quebrada Curpagá garantizan el suministro del recurso para uso actual y futuro. No obstante, el cumplimiento en cuanto a uso eficiente y ahorro del agua no es efectuado en su totalidad, debido que, ASOCACOTA desconoce el estado actual de la infraestructura hidráulica del sistema de riego y particularmente no cuentan con un programa de riego de acuerdo a sus cultivos, y, tampoco cuentan con un programa con proyectos de reducción de pérdidas de agua proyectado según la norma a 5 años.
- ✓ Las condiciones iniciales de solicitud presentadas ante CORPORNOR para la concesión de agua con fines agrícolas, fueron mal elaboradas. El caudal otorgado por la entidad para el riego de los cultivos sobrepasa los límites actuales de las necesidades netas de la asociación. Por esta razón, no se establecieron las diferencias entre un estudio hidrológico anterior y actual para la analizar el avance de perdida de volumen de agua en la microcuenca Curpagá.
- ✓ Se encontró una alta coherencia de la perdida de volumen de agua relacionada con el aumento demográfico a nivel mundial, con la implementación de economía no sustentable y, con la contaminación por algunos gases de efecto invernadero producto de la implementación de agroquímicos y fertilizantes, arraigados por la expansión de los cultivos sobre el país. Además, esta soportado con los testimonios de los 3 habitantes de la zona.
- ✓ El índice de escasez tiene la función de establecer el estado de presión en el que se encuentra el recurso hídrico. Sin embargo, en la microcuenca se deben establecer consideraciones como alerta para la necesidad o no de tomar acciones dirigidas a reducir el riesgo de desabastecimiento futuro ya que se encuentra en un grado medio y es próximo a sobrepasar el 20%.

- ✓ En la parte alta de la microcuenca se encuentra la unión de las quebradas El Oso, La Asonada y Pozo Bravo con características propias de relieves montañosos. Sin embargo se evidencio que la quebrada La Asonada se encuentra en un estado crítico donde el flujo de agua es despreciable como aporte a la quebrada Curpagá. así mismo, de acuerdo con sus rangos físico-morfométricos, la probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales es baja por su forma oval oblonga y por la configuración de su red hídrica es de tipo abanico.
  
- ✓ Se evidencio que la ETR es un factor que poco se analiza en el desarrollo de estudios para oferta y demanda hídrica con fines agrícolas. Además, el balance de agua en el suelo, no es componente considerado dentro de la determinación con requerimientos de agua para riego. Por esta razón, las estimaciones sobre la capacidad de abastecimiento de un cuerpo hídrico son mal establecidas y los conflictos por la gestión del recurso hídrico son las consecuencias a las que posiblemente las entidades gubernamentales se enfrentarán.
  
- ✓ La hidrobiología es un aspecto importante como un indicador de la calidad de agua empleando la identificación de macroinvertebrados y soportando este estudio con un análisis físico-químico para uso de riego. Pues, este factor de reducción generalmente se establece del 25% de acuerdo a la Resolución 0865/2004 por los investigadores sin soportes previos que dimensionen el estado de contaminación del agua.

## RECOMENDACIONES

La evaluación de la oferta y demanda hídrica de la quebrada Curpagá debe realizarse cada 5 años para conocer el estado de avance o deterioro de la misma. Por tal razón, se hace necesario la implementación de instrumentos de medición, para crear una serie de caudales históricos de la misma.

La ASOCIACION debe plantear la posibilidad de rediseñar gran parte de la infraestructura hidráulica, ya que, el mal funcionamiento que tiene actualmente es generado por el mal planteamiento de información y cálculos que se realizaron en el primer estudio hidrólogo. Esto con el fin de generar un aprovechamiento óptimo del recurso, y además, se debe crear algún tratamiento preliminar del agua, pues esta presenta actividad microbiológica de Coliformes fecales y de una alta concentración de potasio.

A los futuros investigadores interesados en crear este tipo de estudios basados en la relación oferta y demanda hídrica, incluir criterios bajo los cuales se emplea el descuento por calidad de agua con el fin de obtener una mayor especificación del grado de contaminación del agua. Esta investigación, recomienda la evaluación hidrobiológica del agua para la determinación de este factor, ya que es un método de rápido, confiable, nuevo y de fácil accesibilidad.

De la misma manera, se deberían establecer los cálculos de balance de agua en el suelo, sin importar las características hidrogeológicas de la cuenca, ya que estos estudios disminuyen el nivel de incertidumbre para las estimaciones de la oferta neta.

Se recomienda a los agricultores, cambiar el sistema de riego actual de aspersion, por uno de goteo a suelo directo. Ya que de acuerdo a los estudio de balance de agua en el suelo, existe buena recarga y el déficit puede ser compensado por un sistema más efectivo como el anterior.

## REFERENCIAS

- Abramson, L. (1996). Slope stability and stabilization methods. *Engineering geology Principles*, 60-106.
- Agueda, B., Leon, F., Florenci, B., Portela, A., Rodriguez, R., & Quirantes, J. (2004). *Meteorología y Climatología-Semana de la ciencia y la tecnología*. España: Fundacion Española para la Ciencia y la Tecnología.
- Alarcon, L. D. (2018). *Proyecto Final*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf>
- Alejandro S. Sánchez Vélez, R. M. (2003). *La cuenca hidrográfica: unidad basica de planeacion y recursos naturales*. Mexio D.F.
- Angillieri, M. (2008). Análisis morfométrico de la cuenca del río Colangüil y riesgo de inundación repentina, San Juan, Argentina. *Geología ambiental*, Volume 55, Pages 107-111.
- Aparna, P. N. (2015). Análisis cuantitativo de geomorfología y análisis de patrones de flujo de la cuenca del río Muvattupuzha utilizando el sistema de información geográfica. *Procedia acuática*, Volumen 4, Pages 609-616.
- Astras, T. &. (1992). Contribution of digital image analysis techniques on Landsat-5 TM imageries for drainage delineation. A case study from the Olympus mountain, west Macedonia, Greece. *Proceedings of the 18th Annual Conference of Remote Sensing Society*, University of Dundee, Dundee, Scotland (pp. 15-17).
- Betancourt Lady, G. C. (2017). *ESTUDIO HIDROLÓGICO Y EVALUACIÓN DE DEMANDA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL EMBALSE TOMINÉ*. Obtenido de Repository Ucatolica: [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14633/1/TESIS\\_FINAL\\_16\\_06\\_2017.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14633/1/TESIS_FINAL_16_06_2017.pdf)

Boulton, A. G. (1965). Morphometric analysis of river basin characteristics. *Water Resources Board*.

Cacota, A. d. (01 de Noviembre de 2016). *MARCO FISCAL DE MEDIANO PLAZO 2016-2025*. Obtenido de Cacota Norte de Santander: [http://cacotanortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/cacotanortedesantander/content/files/000002/66\\_marco--fiscal-de-mediano-plazo.pdf](http://cacotanortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/cacotanortedesantander/content/files/000002/66_marco--fiscal-de-mediano-plazo.pdf)

Canaltiempo21. (2010). *LA METEOROLOGIA DEL SIGLO XXI*. Obtenido de Diccionario Meteorologia: <https://www.canaltiempo21.com/capitulo-1-introduccion/>

CARACOL RADIO. (24 de Julio de 2015). *Emergencia invernal afecta el sur del departamento de Norte de Santander*. Obtenido de [https://caracol.com.co/radio/2015/07/24/regional/1437745442\\_921409.html](https://caracol.com.co/radio/2015/07/24/regional/1437745442_921409.html)

CORTOLIMA. (04 de junio de 2018). *Por evaporación un árbol pierde 265 litros de agua al día*. Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/sabiasque/evaporacion-arbol-pierde-265-litros-agua-d>

Costa Posada, C., Dominguez Calle, E., Gonzales River, H., & Vanegas Sarmiento, V. (2005). El indice de escasez de agua ¿ Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestion del recurso hidrico? *Revista de Ingenieria*, 104-111.

Criado Brayan, I. I. (2016). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL, TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE LA UBICACION GEOGRFICA DEL PREDIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, HACIENDO USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES*. Obtenido de Repositorio UFPSO: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1090/1/28663.pdf>

Debelo, G. T. (2017). Morphometric analysis to identify erosion prone areas on the upper blue Nile using GIS (Case study of Didessa and Jema sub-basin, Ethiopia). *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volumen4, Pages 1773-1784.

Díaz Suescún, L. L., & Alarcon Africano, J. G. (2018). *ESTUDIO HIDROLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO PARA DETERMINAR LA OFERTA Y LA DEMANDA DE AGUA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA NISCOTA PARA UN ACUEDUCTO INTERVEREDAL EN NUNCHÍA, CASANARE*. Recuperado el 9 de Marzo de 2019, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf>

Dury, G. (1952). *Methods of cartographical analysis in geomorphological research*. India: Silver Jubilee Volume, Indian Geographical Society, Madras, 136-139.

EL TIEMPO. (5 de Octubre de 2015). *EL AGUA EN COLOMBIA EN CIFRAS*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-524672>

ETESA. (2009). *ETESA unimos Panama con energia* . Obtenido de Duración media de brillo solar u horas de sol: [http://www.hidromet.com.pa/brillo\\_solar.php](http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php)

FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo (Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos)*. Roma.

Fuetes Yagüe, J. L. (1998). *EcuRed*. Obtenido de Balance Hidrico en el Suelo: [https://www.ecured.cu/Balance\\_H%C3%ADrico\\_en\\_el\\_suelo](https://www.ecured.cu/Balance_H%C3%ADrico_en_el_suelo)

Gobierno Regional de Coquimbo. (2000). *ESTIMACION DE LA DEMANDA DE AGUA EN LOS CULTIVOS*. Obtenido de COMISION NACIONAL DE RIEGO, CHILE: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9851/CNR-0244.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gregory, K. J. (1974). Fluvial Geomorphology.(Book Reviews: Drainage Basin Form and Process. A Geomorphological Approach). . *Science*, Volume 184, Pages 977-978.

Horton, R. E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology Geological Society of America Bulletin. U.S.A.*



IDEAM. (2014). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>

IDEAM, R. d. (2018). *Avance Estudio Nacional del Agua, ENA*. Obtenido de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023846/Avance\\_ENA.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023846/Avance_ENA.pdf)

IPCC. (2000). *GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES A PARTIR DE MODELOS GLOBALES - GUÍA PARA TOMADORES DE DECISIONES*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gu%C3%ADa+Escenarios+para+Tomadores+de+Decisiones.pdf/fa7abe38-43cc-49c8-96a3-f2b5c24ecce3>

Kabite, G. y. (2018). Caracterización hidro-geomorfológica de la cuenca del río Dhidhessa, Etiopía. . *Investigación Internacional de Conservación de Suelos y Aguas*, Volumen 6, Pages 175-183.

Kai Duan, P. V. (2019). Understanding the role of regional water connectivity in mitigating climate change impacts on surface water supply stress in the United States. *Journal of Hydrology*, Volume 570, Pages 80-95.

Khare, D. M. (2014). Morphometric analysis for prioritization using remote sensing and GIS techniques in a hilly catchment in the state of Uttarakhand, India. *Indian Journal of Science and Technology*, Volumen 7, Pages 1650-1662.

LA OPINION. (15 de Julio de 2015). *Asi esta el Rio Cacota* . Obtenido de Las lluvias azontan el sur del departamento de norte de santander : <https://www.laopinion.com.co/region/asi-esta-el-rio-cacota-95294#OP>

Lara Muñoz, E. M. (2013). *Fundamentos de investigación - Un enfoque por competencias* (2 ed.). Ciudad de Mexico, Mexico: ALFAOMEGA.

López Hernando, Q. J. (2014). *OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA JUAN SÁNCHEZ DEL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER*. Obtenido de Repositorio UFPSO: [repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/495](http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/495)

Magesh, N. J. (2013). Análisis morfométrico basado en un sistema de información geográfica de la cuenca del río Bharathapuzha, Kerala, India. *Ciencias del agua aplicada*, Volumen 3, Pages 467-477.

Manual Piragüero . (2014). *Medición del caudal*. Medellín: Corantioquia.

Miller, V. C. (1953). *Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. Volumen 3.

MOBIUS. (22 de Octubre de 2017). *Tratados Internacionales sobre el Medio Ambiente - ¿Cuales son?* Obtenido de <http://mobius.net.co/tratados-internacionales-medio-ambiente/>

Namakforoosh, M. N. (2007). *Metodología de la Investigación* (2 ed.). Limusa, México: LIMUSA NORIEGA EDITORES.

ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS. (Septiembre de 2004). *METODOLOGIA PARA EL CALCULO DEL INDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>

Ospino, G. d. (1999). *Diccionario de Hidrología y Ciencias a fines*. MEXICO: PLAZA Y VALDES.

Ozdemir, H. y. (2009). Evaluación de parámetros morfométricos de redes de drenaje derivadas de mapas topográficos y DEM en punto de inundaciones. *Geología Ambiental*, Volumen 56, Pages 1405-1415.

Pabon, J. D. (2003). El Cambio Climatico Global y su manifestacion en Colombia. *Cuadernos de Geografia*, 7, 111-119.

Perez Campomanes, G. (2015). *Manual de Hidrología Aplicada*. Lima, Peru.

Poveda Jaramillo, G., Mesa Sanchez, O. J., Vélez Upegui, J. I., Ceballos Bonilla, L. I., Zuluaga Arias, M. D., & Hoyos Ortiz, C. D. (2002). ESTIMACION DE CAUDALES

MINIMOS PARA COLOMBIA MEDIANTE REGIONALIZACION Y APLICACIÓN DE LA CURVA DE RECESIÓN DE CAUDALES. *Meteorología Colombiana*, 73-80.

Praveen Kumar Rai, V. N. (2017). A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Volume 7, Pages 9-20.

PROMIX. (5 de Octubre de 2018). *Rol del potasio en el cultivo de plantas*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-potasio-en-el-cultivo-de-plantas/>

Rai, P. M. (2017). Un enfoque basado en SIG en el análisis morfométrico de drenaje de la cuenca del río Kanhar, India. *Applied Water Science*, Volume 7, Pages 217-232.

Ramon, F. J. (2019). *Hidrologia USAL - Evapotranspiracion*. Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf>

Rastogi, R. A. (1976). Quantitative analysis of drainage basin characteristics. *J Soil Water Conserv India*, Volume 26, Pages 18-25.

Rico, R. A. (Enero de 2008). *Recursos Agua Puerto Rico*. Obtenido de [http://www.recursosaguapuertorico.com/APENDICE\\_D\\_GLOSARIO\\_ENERO\\_2008.pdf](http://www.recursosaguapuertorico.com/APENDICE_D_GLOSARIO_ENERO_2008.pdf)

Rinaldo, A. R.-I. (1998). Channel networks, in Jeanloz R., Albee AL, Burke KC. *Annual review of earth and planetary sciences Palo Alto, Annual Reviews*, Volume 26, Pages 289-327.

Roldan Perez, G. (1985). *Guia para el estudio de los macroinvertebrados acuaticos del departamento de Antioquia*. Antioquia.

Roman, J. S. (2013). *Precipitaciones*. Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>

Rosa Rodriguez, A. B. (2004). *Meteorología y Climatología-Semana de la ciencia y la tecnología*. España: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Sanchez, A. S., Garcia, R. M., & Palma, A. (2003). *La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y recursos naturales*. México D.F.

Sandoval Erazo, W. R., & Aguilera Ortiz, E. P. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información hidrológica. *Ciencia UNEMI*, 100-110.

Seyed Hamidreza Sadeghi, S. N. (2017). Sediment contribution from different geologic formations and land uses in an Iranian small watershed, case study. *International Journal of Sediment Research*, Volume 32, Pages 210-220.

STRAHLER, A. (1952). ANÁLISIS HIPSOMÉTRICO (ÁREA-ALTITUD) DE LA TOPOGRAFÍA EROSIONAL. *Boletín GSA*, 1117-1142.

Strahler, A. (1964). Parte II. Geomorfología cuantitativa de cuencas de drenaje y redes de canales. *Manual de hidrología aplicada: McGraw-Hill*, Nueva York, 4-39.

Sujatha, E. S. (2015). Análisis morfométrico de la subcuenca en partes de Ghats occidentales, sur de la India utilizando ASTER DEM. *Geomática, Riesgos y Riesgos Naturales*, Volumen 6, Pages 326-341.

Tianhong Li, S. Y. (2019). Simulation and optimization of water supply and demand balance in Shenzhen: A system dynamics approach. *Journal of Cleaner Production*, Volume 207, Pages 882-893.

Tuñón Colom, J. (2000). *Departamento de Ciencias Experimentales-Universitat Jaume I CASTELLON*. Obtenido de DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL BALANCE HIDRICO DEL SUELO Y EVALUACION DE LA CONTAMINACION ASOCIADA A LAS PRACTICAS AGRICOLAS:  
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10405/tunyon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ucha, F. (Febrero de 2011). *Definición de Isoterma*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/isoterma.php>

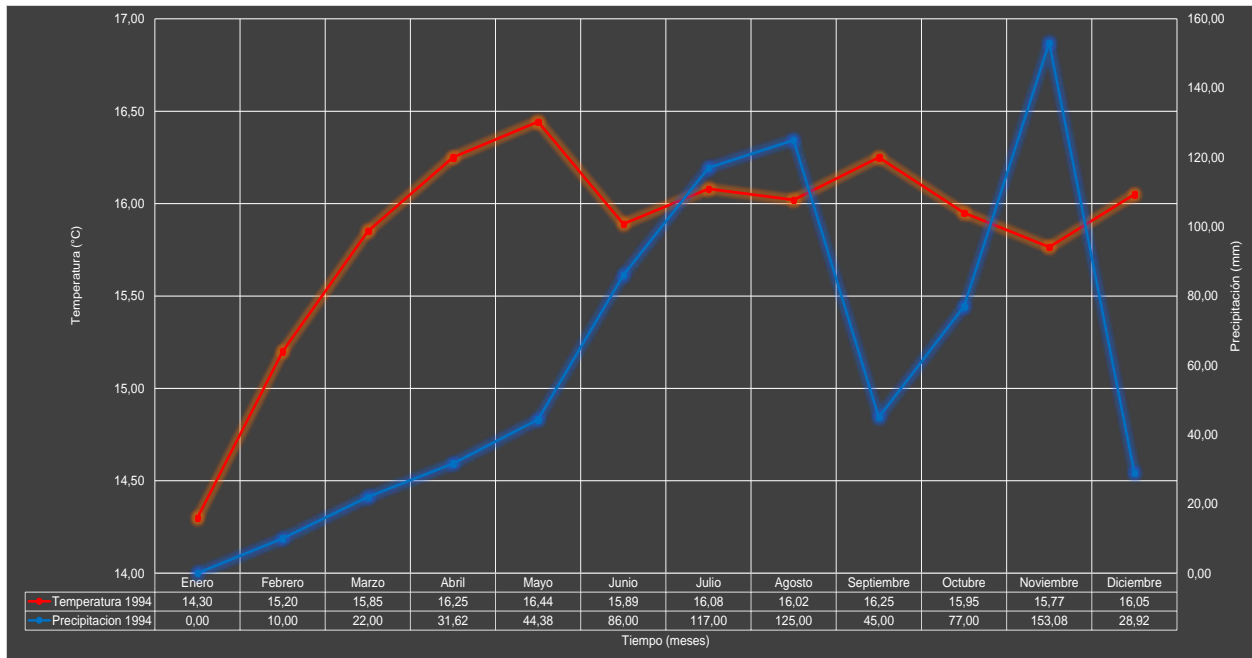
Unesco. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía Internacional de investigación y métodos* . España.

Villón, M. (2002). *Hidrología* . Lima,Peru: Villon.

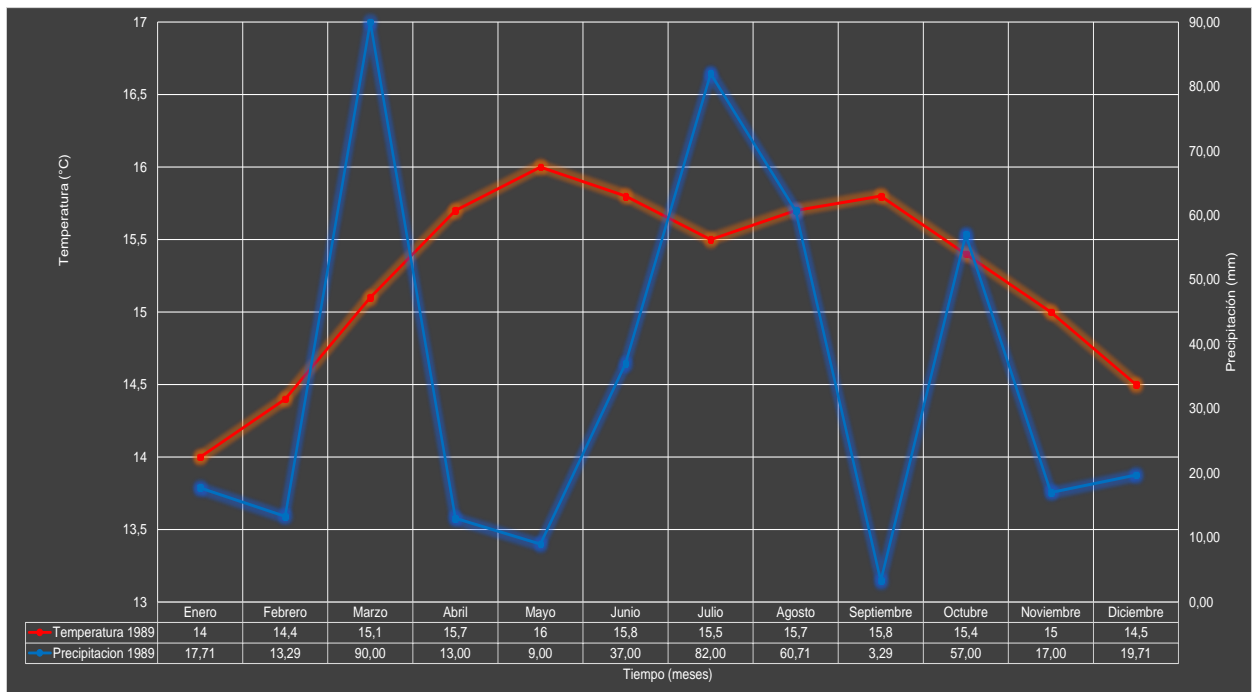
Wilson, J. J. (2012). Morphometric Analysis of Major Sub-Watersheds in Aiyar & Karai Pottanar Basin, Central Tamil Nadu, India Using Remote Sensing & GIS Techniques. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 2(Special Issue Special Issue on Geospatial Technology Development in Natural Resource and Disaster Management), Volume 2, Pages 08-15.

Winter, T. M. (2000). Uso del análisis de componentes principales para la interpretación de hidrogramas de agua subterránea. *Agua subterránea* . *DeAcademic OneFile*, 38 (2), 234.

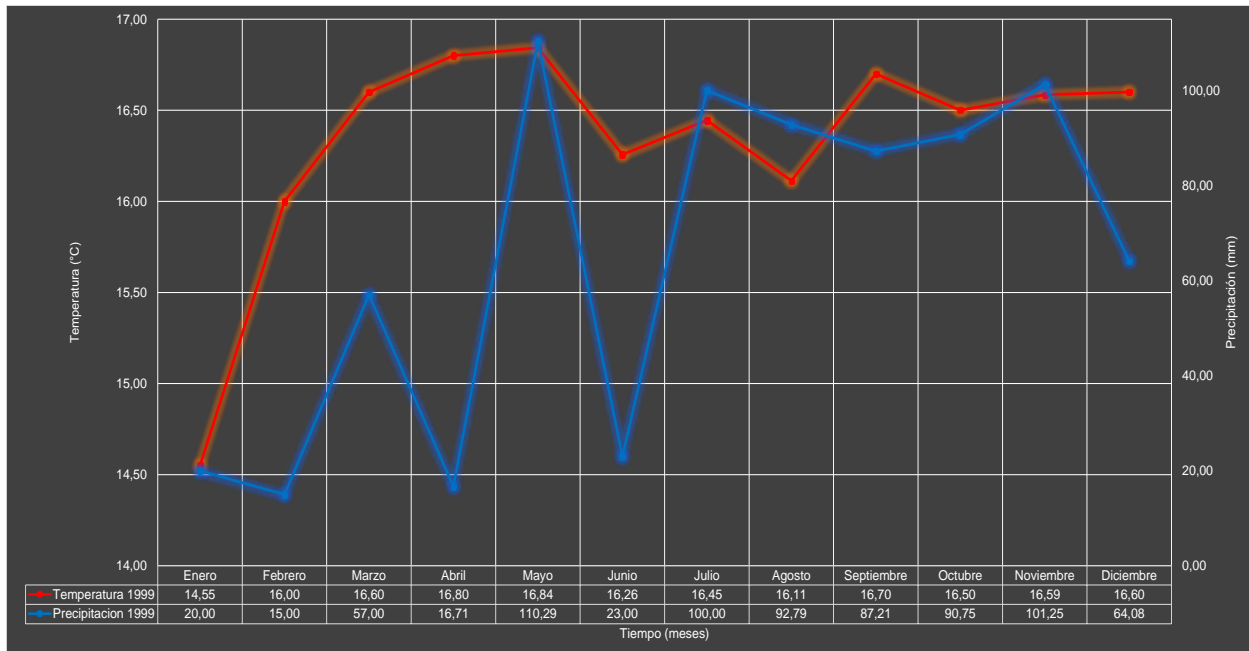
Ying Guo, Y. S. (2016). Agricultural water supply/demand changes under projected future climate change in the arid region of northwestern China. *Journal of Hydrology*, Volume 540, Pages 257-273.



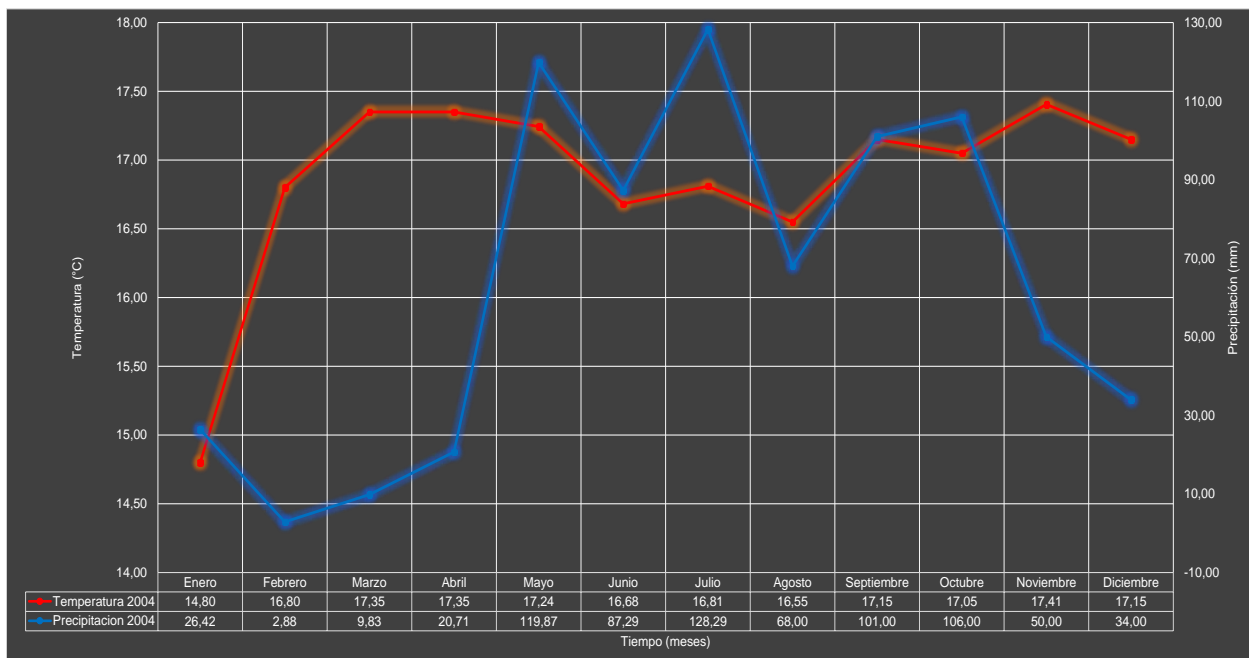
**Anexo 3** Temperatura vs Precipitación, año 1989



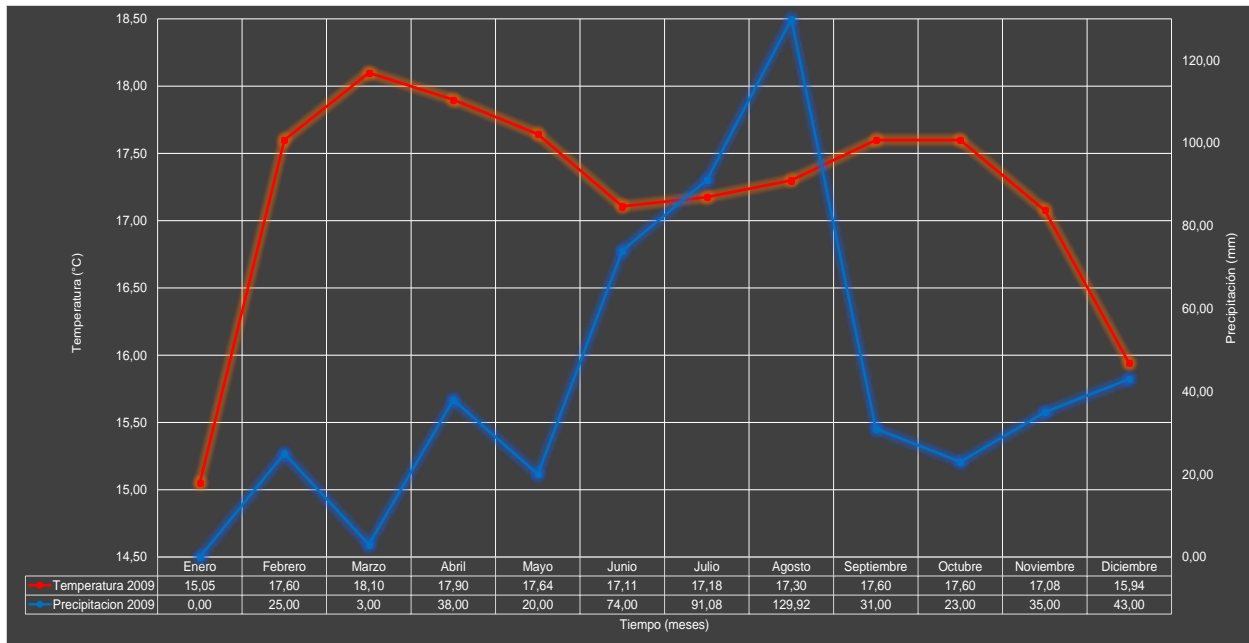
**Anexo 4** Temperatura vs Precipitación, año 1994



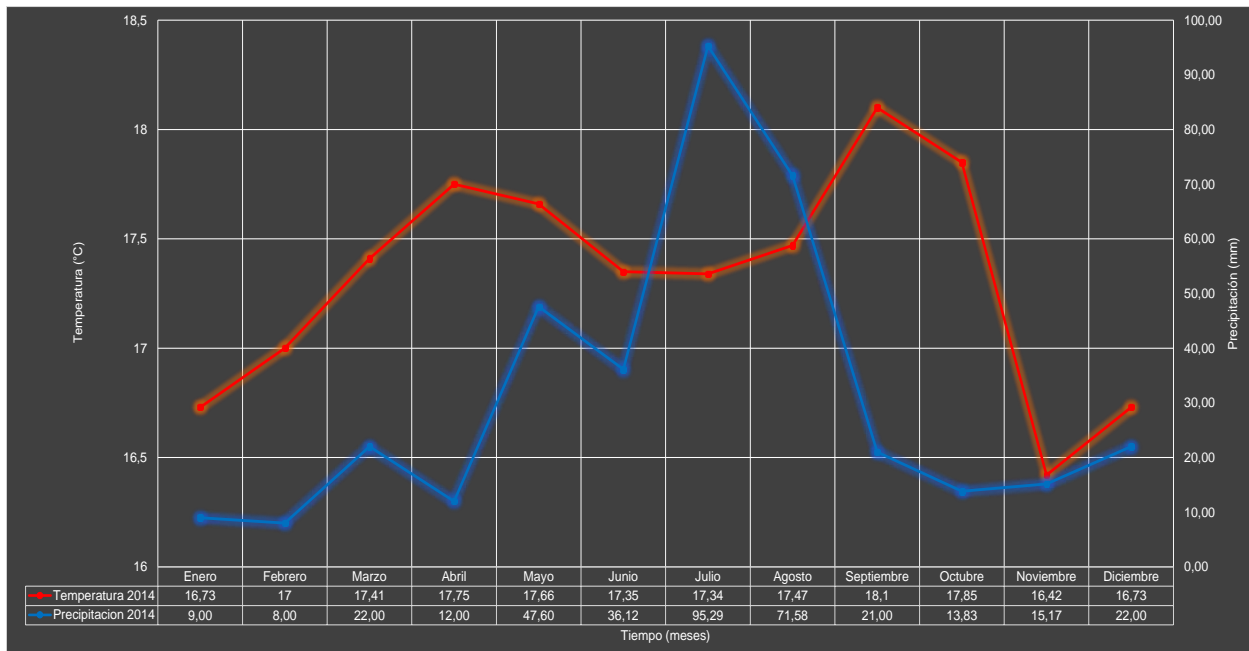
**Anexo 5** Temperatura vs Precipitación, año 1999



**Anexo 6** Temperatura vs Precipitación, año 2004

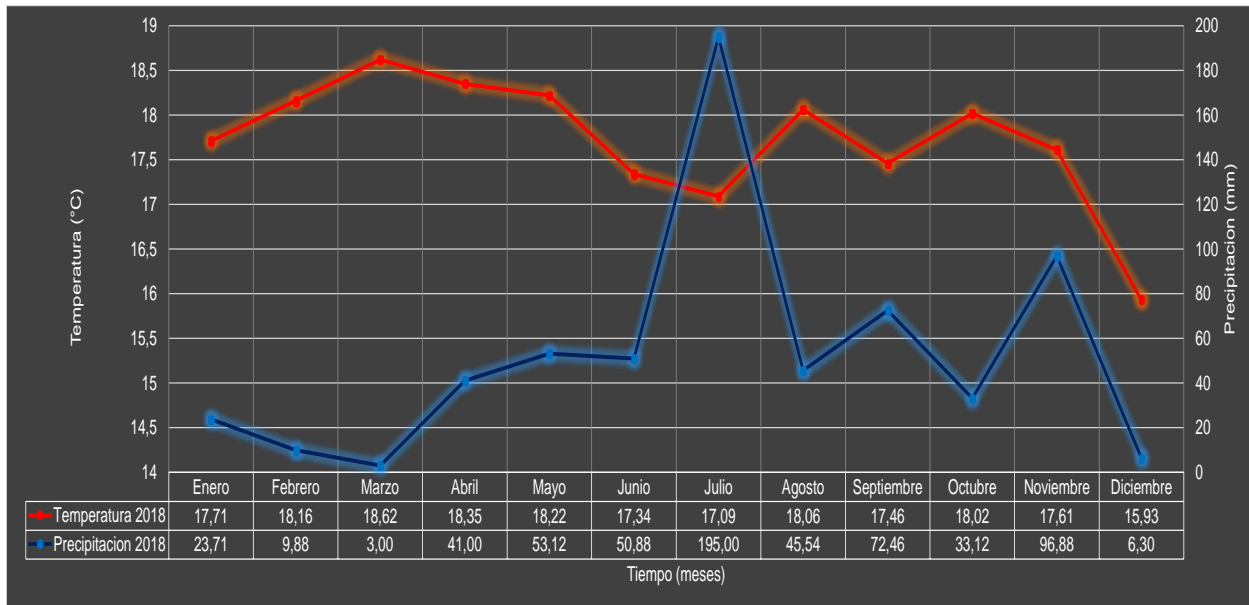


**Anexo 7** Temperatura vs Precipitación, año 2009

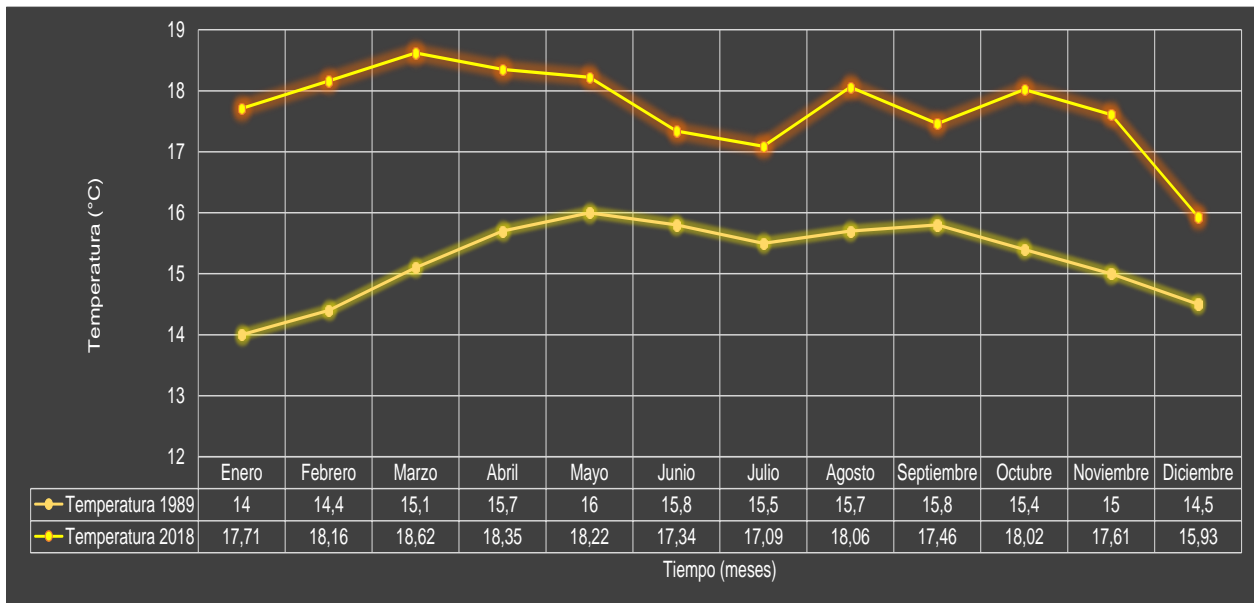


**Anexo 8** Temperatura vs Precipitación, año 2014





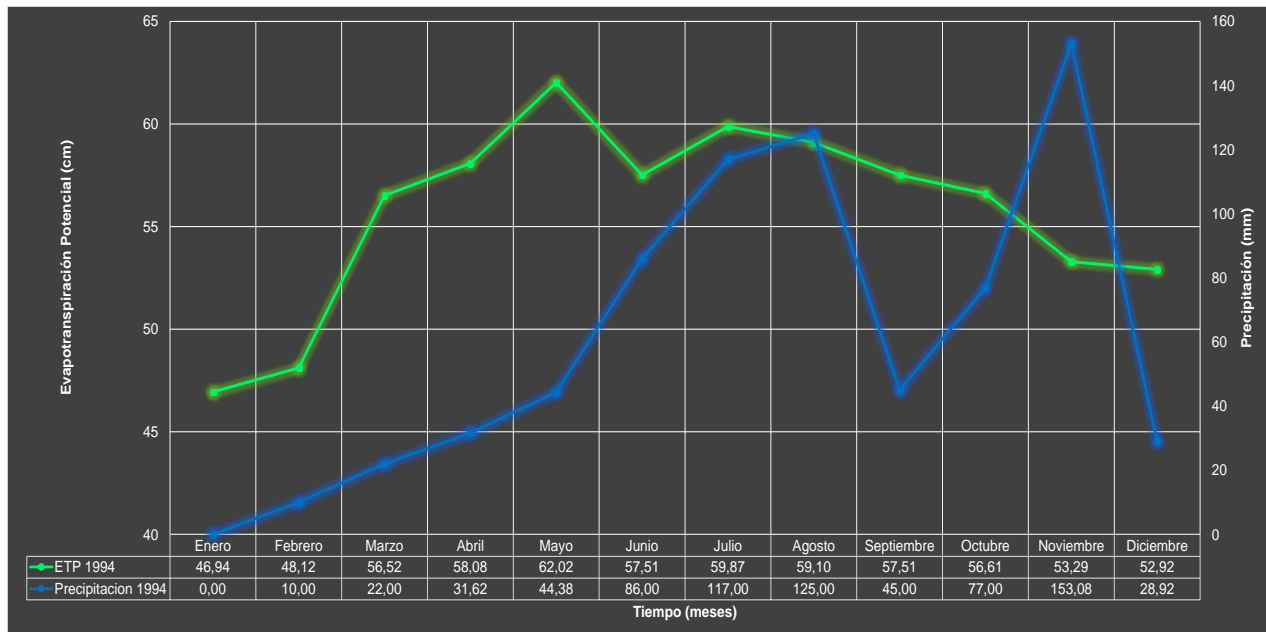
**Anexo 9** Temperatura vs Precipitación, año 2018



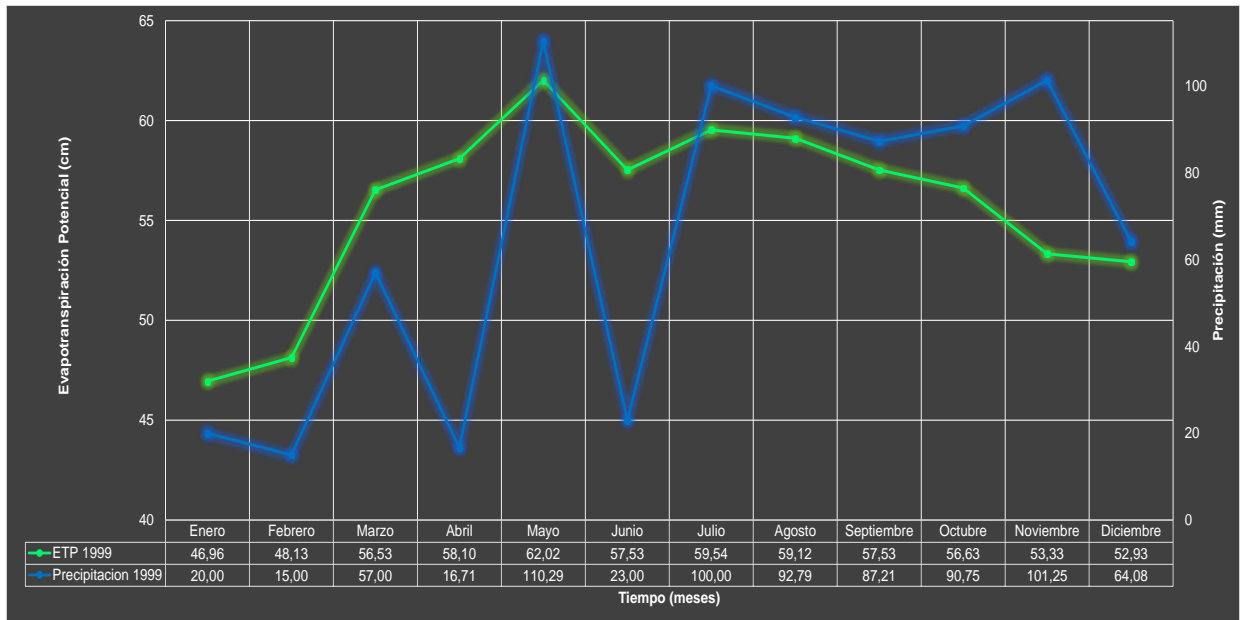
**Anexo 10** Temperatura 1989 vs Temperatura 2018

Mes	ETP 1989	ETP 1994	ETP 1999	ETP 2004	ETP 2009	ETP 2014	ETP 2018
Enero	47,34	46,94	46,96	46,20	46,49	55,44	60,00
Febrero	45,99	48,12	48,13	53,33	56,80	53,07	58,44
Marzo	54,32	56,52	56,53	61,93	65,56	60,84	67,22
Abril	56,94	58,08	58,10	61,19	63,53	62,18	64,68
Mayo	61,41	62,02	62,02	63,44	64,92	64,60	66,93
Junio	58,98	57,51	57,53	58,71	60,26	61,29	59,91
Julio	58,53	59,87	59,54	60,78	62,01	62,56	59,62
Agosto	59,26	59,10	59,12	58,77	62,32	62,94	65,41
Septiembre	56,92	57,51	57,53	59,41	61,09	63,72	58,55
Octubre	55,51	56,61	56,63	59,63	61,93	63,04	62,84
Noviembre	51,14	53,29	53,33	59,24	56,37	52,21	57,80
Diciembre	46,90	52,92	52,93	55,74	48,25	52,08	46,55
<b>Total</b>	<b>653,24</b>	<b>668,50</b>	<b>668,35</b>	<b>698,38</b>	<b>709,53</b>	<b>713,95</b>	<b>727,94</b>

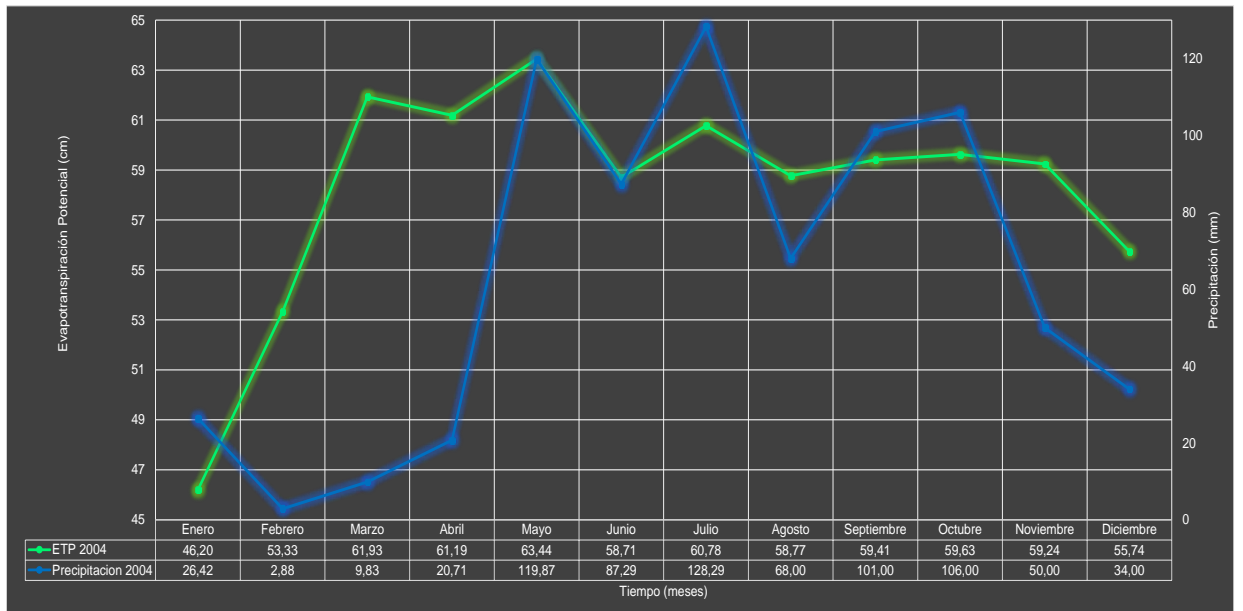
**Anexo 11** Evapotranspiración mensual multianual en un periodo quinquenal



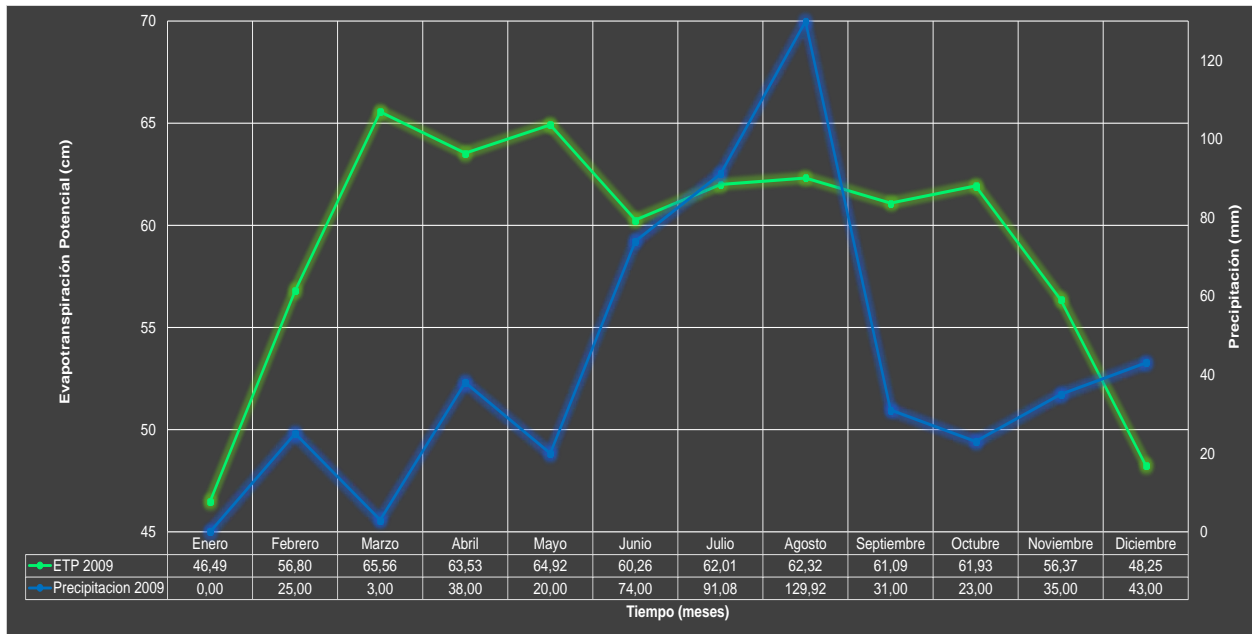
**Anexo 12** Evapotranspiración vs Precipitación, 1994



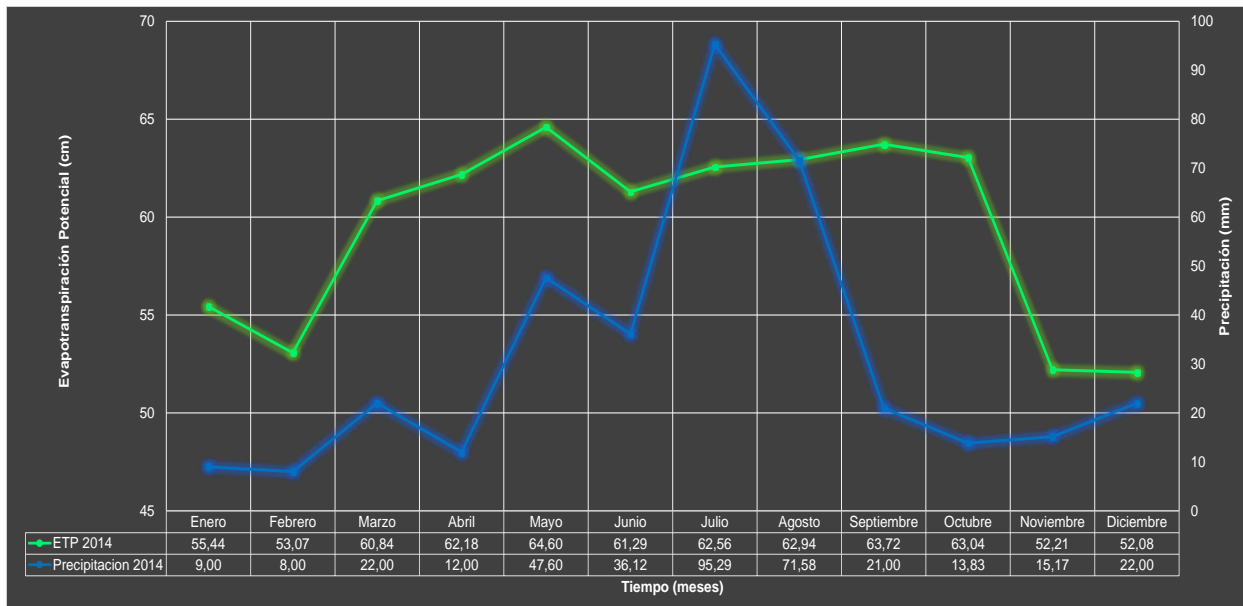
**Anexo 13 Evapotranspiración vs Precipitación, 1999**



**Anexo 14 Evapotranspiración vs Precipitación, 2004**



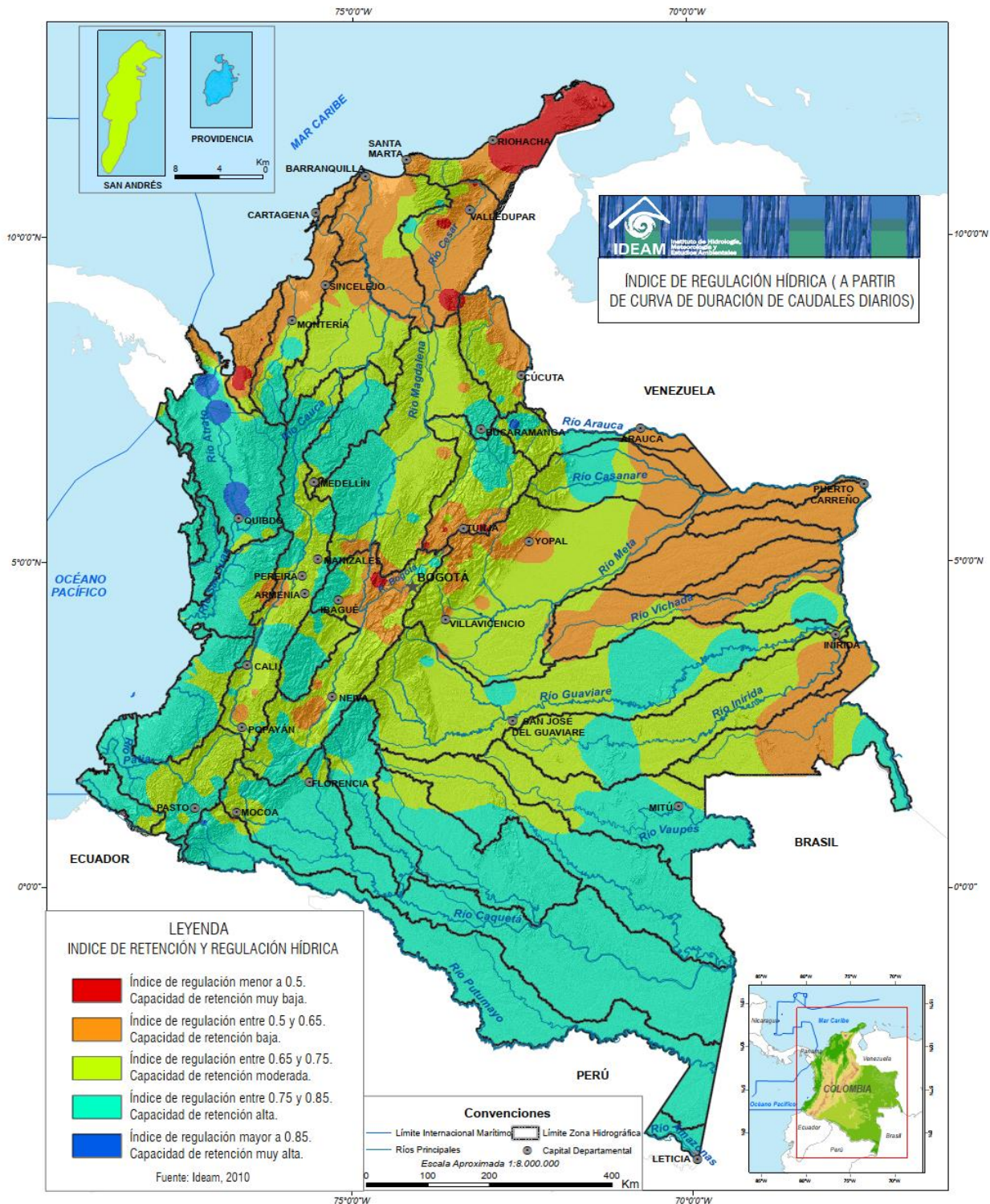
**Anexo 15** Evapotranspiración vs Precipitación, 2009



**Anexo 16** Evapotranspiración vs Precipitación, 2014

CARACTERISTICAS	DENSIDAD ALTA	DENSIDAD BAJA	OBSERVACIONES
Resistencia a la erosión	Fácilmente erosionable	Resistente	Asociado a la formación de los cauces
Permeabilidad	Poco permeable	Muy permeable	Nivel de infiltración y escorrentía
Topografía	Pendientes Fuertes	Llanura	Tendiente al encharcamiento y tiempos de concentración

**Anexo 17** Densidad de drenaje relacionada con la topografía



**Anexo 19** Mapa del IDEAM para el IRH



FAMILIAS	PUNTAJE
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hídridae, Lampyridae, Lymnessidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polytharidae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Epheméridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudohelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Velidae	8
Baetidae, Coenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesovelidae, Nepidae, Planorbidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae	4
Ceratopogonidae, Glossiphonidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae	2
Tubificidae	1

**Anexo 20** Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el IBMW/Col

CLASE	CALIDAD	BMWP/Col	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	101-120, >150	Aguas muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

**Anexo 21** Valoración y determinación de la calidad del agua

Cultivo	Área (Ha)	Kc	ETP anual (mm)	ETo anual (mm)	P anual (mm)	Demanda hídrica
Durazno	210,5	1,1	7279	8006,9	630,99	1552629
Arracacha	35,0	1,15	7279	8370,85	630,99	270895,1
Papa	41,0	1,15	7279	8370,85	630,99	317334,3
Cebollín	46,0	1,05	7279	7642,95	630,99	322550,2
Frijol	47,0	1,05	7279	7642,95	630,99	329562,1
Apio	36,0	1,05	7279	7642,95	630,99	252430,6
Ciruelo	35,0	1,1	7279	8006,9	630,99	258156,9
Fresa	33,0	0,85	7279	6187,15	630,99	183353,3
Cebolla	30,0	1,05	7279	7642,95	630,99	210358,8
Maíz	38,0	1,2	7279	8734,8	630,99	307944,8
Arveja	38,0	1,05	7279	7642,95	630,99	266454,5
Uchuva	28,5	1,15	7279	8370,85	630,99	220586
Breva	27,0	1,1	7279	8006,9	630,99	199149,6
Papa criolla	29,5	1,15	7279	8370,85	630,99	228325,9
Curuba	27,0	1,1	7279	8006,9	630,99	199149,6
Tomate de árbol	28,0	1,1	7279	8006,9	630,99	206525,5
Pasto	63,0	0,85	7279	6187,15	630,99	350038,1
Zanahoria	28,0	0,95	7279	6915,05	630,99	175953,7
<b>Total/año</b>						<b>5851398</b>

**Anexo 22** Demanda hídrica por cada cultivo de la microcuenca Curpagá.