

**SISTEMA DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA PARA LA EVALUACION DE LA PRESION DE LA DEMANDA
SOBRE LA OFERTA HÍDRICA EN LA QUEBRADA BARBILLAS MUNICIPIO DE
LA PLATA DEPARTAMENTO DEL HUILA**

WILMAN ANCIZAR RIVERA VARGAS



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2017**

***SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA EVALUACION DE LA
PRESION DE LA DEMANDA SOBRE LA OFERTA HÍDRICA EN LA QUEBRADA
BARBILLAS MUNICIPIO DE LA PLATA DEPARTAMENTO DEL HUILA***

WILMAN ANCIZAR RIVERA VARGAS

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
Al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2017**

AGRADECIMIENTOS

Gracias inicialmente a Dios por permitirme alcanzar un logro más en mi vida profesional; a mis padres y a mi hermana, que de una u otra forma me han brindado todo su apoyo, a mi esposa y a mi pequeño hijo Mathias, que día a día me impulsan a ser una mejor persona para crecer todos como una gran familia.

Adicionalmente el autor expresa su agradecimiento a la Universidad de Manizales:

JOSE FERNANDO MEJIA

Doctor en Ingeniería
Coordinador de la Especialización

LUIS CARLOS CORREA

Maestro en Educación
Director Seminario Grado

Igualmente expresa su agradecimiento a la Corporación Regional Autónoma del Alto Magdalena CAM:

CARLOS ALBERTO CUELLAR

Ingeniero Agrónomo. MSc en Ingeniería y Gestión Ambiental
Director General

CARLOS ANDRES GONZALEZ

Ingeniero Forestal
Subdirector Regulación y Calidad Ambiental

CARLOS ALBERTO VARGAS

Ingeniero Agrícola. Esp. En Ingeniería y Gestión Ambiental
Profesional Regulación y Calidad Ambiental

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	12
1.1 DESCRIPCION	12
1.2 ZONA DE ESTUDIO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 DEMANDA HÍDRICA	16
4.2 OFERTA HÍDRICA	22
4.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO	28
5. METODOLOGÍA	32
5.1 TIPO DE TRABAJO	32
5.2 PROCEDIMIENTO	32
5.2.1 Fase 1. Recolección de información, ajuste y edición.	32
5.2.2 Fase 2. Creación de una base de datos.	33
5.2.3 Fase 3. Estimación de demanda y oferta hídrica de la cuenca hidrográfica.	36
5.2.4 Fase 4. Estimación del índice del Uso del Agua.	37
5.2.5 Fase 5. Salidas cartográficas.	37
6. RESULTADOS	38
6.1 RECOPIACION DE LA INFORMACION	38
6.3. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL	41
6.3.1. DELIMITACION CUENCA HIDROGRAFICA BARBILLAS	41
6.3.2. DISTRIBUCION DE DENSIDAD DE CAPTACIONES DE USUARIOS	42
6.3.3. Identificación Y Verificación De Los Usos Del Recurso Hídrico	43
6.3.4. Identificación De Unidades Cartográficas En El Área De Estudio	44
6.3.5. Propiedades Físicas Del Suelo y Características de Los Cultivos	45
6.3.6 Demandas de agua	46
6.3.7 Oferta Hídrica	47
6.3.8. Índice del uso de agua	47
6.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48

7. CONCLUSIONES	49
8. RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO A. BASE DE DATOS ESPACIAL	52
ANEXO B. BALANCES HÍDRICOS	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1 Localización General Cuenca Hidrográfica Barbillas. Fuente: Elaboración Propia</i>	13
<i>Figura 2. Esquema conceptual del modelo Agregado de Tanques</i>	24
<i>Figura 3 Requerimientos de información para la estructuración de la base de datos</i>	33
<i>Figura 4 Modelo de Datos Cuenca Hidrográfica Barbillas</i>	34
<i>Figura 5 Geodatabase Cuenca Quebrada Barbillas</i>	34
<i>Figura 6 Subtipos Captaciones quebrada Barbillas</i>	36
<i>Figura 7 Captación de Fondo</i>	39
<i>Figura 8 Cuenca hidrográfica de la quebrada Barbillas</i>	42
<i>Figura 9. Distribución de Usuarios Cuenca Quebrada Barbillas</i>	43
<i>Figura 10. Unidades cartográficas</i>	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Dotación neta máxima de acuerdo al nivel de complejidad</i>	17
<i>Tabla 2. Corrección a la dotación neta según el clima y complejidad del sistema.</i>	18
<i>Tabla 3. Porcentajes máximos admisibles de pérdidas para el cálculo de la dotación bruta</i>	18
<i>Tabla 4. Rangos y Categorías del Índice de Uso del Agua (IUA).</i>	31
<i>Tabla 5 Estructuración de la Información</i>	35
<i>Tabla 6. Recopilación de Información</i>	38
<i>Tabla 7 Esquematización de la información recolectada</i>	40
<i>Tabla 9. Distribución de Usos del Recurso Hídrico</i>	43
<i>Tabla 10. Propiedades Físicas del Suelo del Área de Estudio</i>	45
<i>Tabla 11. Características de los Cultivos</i>	45
<i>Tabla 12. Modulo Consumo Área de Estudio</i>	46
<i>Tabla 13. Demanda Total Real</i>	46
<i>Tabla 14. Resultado análisis hidrológico</i>	47

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. BASE DE DATOS ESPACIAL	52
ANEXO B. BALANCES HÍDRICOS	53

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la Cuenca Hidrográfica de la quebrada Barbillas, localizada en el Municipio de La Plata en el departamento del Huila. El objetivo principal fue determinar la presión que ejerce la demanda hídrica sobre la oferta hídrica mediante la estimación del índice del uso del agua (IUA), para lo cual, inicialmente fue necesario cuantificar los dos elementos que intervienen en la estimación del mismo; primero, la demanda hídrica mediante la individualización de cada usuario del recurso hídrico incluyendo criterios como, sector socioeconómico para el que se deriva el caudal, volumen de agua derivado y la legalidad del usuario, entre otros que se consideraron en su momento relevantes, y el segundo, la oferta hídrica, definiendo el caudal base de reparto u oferta hídrica superficial disponible y la fracción del caudal que debe ser catalogado como ambiental. Los anteriores elementos, fueron articulados en un sistema de información geográfico (SIG) que permitió no solo dar cumplimiento con el objetivo propuesto, sino que además, brinda la posibilidad de visualizar, consultar y evaluar diferentes escenarios que ayudaran a tomar decisiones en cuanto a la categorización del uso y a la asignación del recurso hídrico. La metodología aplicada se desarrolló en varias etapas: recopilación de información; georeferenciación de obras de captación y distribución; procesamiento de la información colectada en campo; estudio de la dinámica del clima en la zona; evaluación de la oferta de agua; evaluación de la demanda y finalmente determinación del índice de escasez.

PALABRAS CLAVES: Índice de escasez-Oferta-Demanda-sistemas de información geográfico.

ABSTRACT

The present work was developed in the Hydrographic Basin of the Barbillas Stream, located in the Municipality of La Plata in the department of Huila. The main objective was to determine the pressure exerted by water demand on the water supply by estimating the water use index (IUA) for which, initially it was necessary to quantify the two elements involved in estimating it; first, the water demand through the individualization of each user of the water resource, including criteria such as the socioeconomic sector for which the flow is derived, the volume of water derived and the legality of the user, among others that were considered relevant at the time, and the second, the water supply, defining the base distribution rate or available surface water supply and the fraction of the flow that should be classified as environmental. The above elements were articulated in a geographic information system (GIS) that allowed not only to comply with the proposed objective, but also provided the possibility of viewing, consulting and evaluating different scenarios that would help make decisions regarding the categorization of the use and allocation of water resources. The applied methodology was developed in several stages: information gathering; georeferencing of catchment and distribution works; processing of information collected in the field; study of the climate dynamics in the area; evaluation of the water supply; evaluation of the demand and finally determination of the scarcity index.

KEY WORDS: Index of scarcity-Supply-Demand-geographic information systems.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico está sometido continuamente a grandes amenazas debido a que se tiene la percepción errónea de que es un recurso abundante, hasta el punto de llegar a pensar que es ilimitado. Sumado a esto, se tiene que los abrumadores pronósticos climáticos influenciados por el cambio climático y acentuados por acciones antrópicas como la deforestación, contaminación, dilapidación hídrica, entre otros, vienen afectando no solo la cantidad sino también la calidad del agua. Por tal motivo surge la necesidad por parte de las autoridades ambientales de implementar un plan que les permita intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua para garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y los usos actuales y potenciales de dichos cuerpos de agua; pero para esto, inicialmente es necesario evaluar la condición actual de los cuerpos de agua, mediante la determinación del índice del uso del agua (IUA).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es determinar la presión de la demanda sobre la oferta hídrica conceptualizada en el IUA de la quebrada Barbillas, fuente hídrica de importancia para el municipio de La Plata, puesto que abastece su acueducto municipal y a usuarios dispersos en la rural del mismo municipio. De los resultados obtenidos se derivará la necesidad o no de intervenir la cuenca hidrográfica, con la intención de distribuir equitativamente el recurso agua entre los usuarios que se abastecen de dicha fuente y esta manera mitigar los conflictos sociales que se presenten como consecuencia del déficit hídrico en la zona, principalmente en época de verano.

Por otro lado y con la intención de adoptar y ajustar una metodología orientada en la planificación y la gestión del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica objeto del estudio, se implementa un Sistema de Información Geográfica capaz de ofrecerle a la autoridad ambiental competente la posibilidad de visualizar, consultar y evaluar diferentes escenarios que ayudan a tomar decisiones en cuanto a la asignación del recurso hídrico. Para la elaboración de este proyecto se hizo necesaria la utilización del software Arcgis 10.3, utilizando la interfaz Arcmap y ArcCatalog, con lo cual se desarrollaron los métodos de procesamiento y análisis de la información.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCION

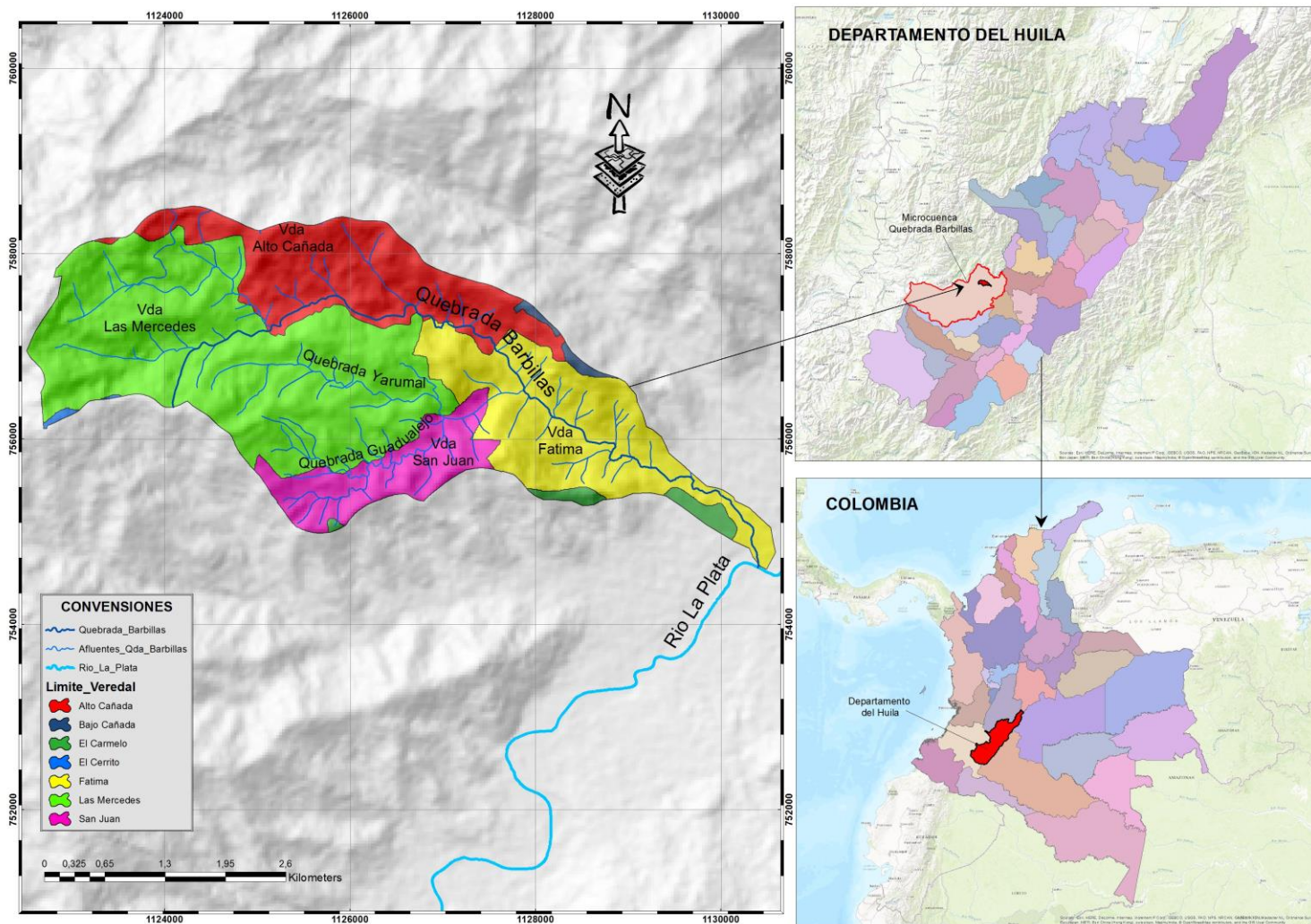
El agua es un recurso indispensable para el desarrollo del ciclo de la vida, y aunque nuestro planeta tiene mucha agua, solo el 2.5% es agua dulce, esto significa que cada vez tenemos una mayor responsabilidad para efectuar un adecuado uso del recurso hídrico. Lastimosamente la falta de conciencia del ser humano genera un uso indiscriminado de la misma, provocando conflictos de carácter Ambiental, Social y Económico entre las diferentes comunidades. Debido a esto la autoridad ambiental en aras de mitigar estos problemas que generan impactos negativos en las diferentes comunidades del departamento del Huila, se ve en la necesidad de implementar estrategias que le permitan poder tomar decisiones en la administración del recurso agua.

1.2 ZONA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica de la quebrada Barbillas se localiza en la región Norte del municipio de La Plata en el departamento del Huila. Abarca un área de aproximadamente 15 km² y políticamente se ubica en las veredas Las Mercedes, Alto Cañada, San Juan, Fátima, El Cerrito, Bajo Cañada, y El Carmelo. Su cauce principal discurre en sentido Occidente- Oriente, nace en la vereda Las Mercedes a una altura aproximada de 2250 m.s.n.m y desemboca en la margen Izquierda del río La Plata a una altura aproximada de 935 m.s.n.m. Sus principales afluentes son: por la margen derecha las quebradas, Yarumal y Guadualejo.

En la siguiente figura se muestra la ubicación general de la cuenca hidrográfica de la quebrada Barbillas.

Figura 1 Localización General Cuenca Hidrográfica Barbillas. Fuente: Elaboración Propia



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar un Sistema de Información Geográfico –SIG- de los usuarios del recurso hídrico de la quebrada Barbillas, corriente hídrica que discurren por el Municipio de la Plata en el departamento del Huila que permita evaluar la presión de la demanda sobre la oferta hídrica, mediante la estimación del Índice de Uso Agua (IUA).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Georeferenciar las tomas prediales de los usuarios del recurso hídrico de la quebrada Barbillas y su cauce principal.
- Caracterizar los principales usuarios que se abastecen hídricamente de la quebrada Barbillas.
- Cuantificar la oferta y la demanda hídrica de la quebrada Barbillas.
- Estimar el Índice de Uso del Agua (IUA) para la quebrada Barbillas.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad muchas de las corrientes hídricas que discurren por el territorio nacional se han visto afectadas por el desabastecimiento hídrico; el incremento poblacional, la ampliación de la frontera agrícola, la variabilidad extrema de las condiciones climáticas y la falta en algunos casos de instrumentos de regulación y vigilancia del recurso, son algunos de los factores que propician dicha problemática

La escasez de agua es entonces causada en mayor proporción por la acción del ser humano y es un flagelo que no solo afecta a nuestro país; en el mundo se estima que más de mil millones de personas se ven privadas del derecho a un agua limpia (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2006). Pero hay que recordar que el consumo humano no es el único uso que se da al agua, es más, este es el sector con un menor porcentaje de extracción; tan solo el 10% del agua disponible en el mundo es destinado para esta actividad mientras que en la industria se utiliza el 21% y en la agricultura, el sector con mayor demanda, se utiliza alrededor del 69% del volumen total de agua dulce disponible (FAO, 2002).

Para Colombia los porcentajes de distribución de agua se mantienen proporcionales con los de escala global; la agricultura sigue siendo el sector con mayor consumo con aproximadamente un 70%, seguido está el uso industrial y la minería con un 25% y finalmente el consumo humano con un 4%.

Por otra parte, los altos porcentajes de agua destinados a la agricultura de deben principalmente a que los sistemas empleados para su aplicación son ineficientes; de acuerdo con Ojeda & Raúl, 2000, el 90% de la superficie bajo riego en Colombia utiliza riego por gravedad, lo cual constituye uno de los principales obstáculos para un uso eficiente y racional de los recursos hídricos, y en algunas regiones ha ocasionado que el recurso escasee hasta llegar a los límites en los que ni siquiera su condición ambiental mínima se puede sostener.

Por lo anterior, enfrentar la escasez del agua en Colombia se ha convertido en uno de los desafíos más grande que enfrenta la sociedad actualmente, ya que al no haber una conciencia clara de los retos que se deben enfrentar, se dificulta el planteamiento de alternativas que permitan mitigar los efectos causados.

De esta manera, el presente proyecto de grado busca mediante la recolección de información de los usos de la quebrada Barbillas y la estimación de su oferta hídrica, compilados en un Sistema de Información Geográfica, establecer la presión de la demanda sobre la oferta hídrica y en este sentido determinar si existe o no algún grado de escasez. Estos resultados serán un insumo importante para que la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM, entidad ambiental con jurisdicción en la cuenca de la quebrada Barbillas, plantee alternativas de regulación y control ante la eventualidad de determinarse sobre la fuente algún grado de escasez hídrico.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 DEMANDA HÍDRICA

Este concepto comprende “la extracción hídrica del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no antrópicos”¹. Estas últimas demandas se refieren a lo que se conoce como caudal ambiental, el cual se define como el “Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas”²; es decir, es la proporción de caudal que se debe dejar en todos los periodos del año con el fin de garantizar que la fuente hídrica se siga comportando de manera natural; esto significa, sin perturbar sus procesos y ecosistemas.

Dentro de los diferentes sectores que hacen uso del recurso hídrico se tienen: consumo humano o uso doméstico, agrícola, industrial, servicios, energía, acuícola y el agua extraída no consumida. La estimación de la demanda total de agua para alguna unidad de estudio se deriva de la suma del caudal que es demandado por cada uno de estos sectores, tal y como se establece en la ecuación 1.

$$Dh = Ch + Csp + Csm + Cea + Ca + Aenc \quad (1)$$

Dh: Demanda Hídrica

Ch: Consumo humano

Csp: Consumo del sector agrícola

Csm: Consumo del sector industrial

Css: Consumo del sector servicios

Ce: Consumo del sector energía

Ca: Consumo del sector acuícola

Aenc: Agua extraída no consumida.

Dentro de los usos más comunes que se le da al agua que discurre por el cauce de la quebrada Barbillas se tiene, el que beneficia al sector agrícola con el riego de cultivos y el uso doméstico. Por lo anterior a continuación se establecen los métodos de cálculo de la demanda únicamente para estos dos sectores.

¹ IDEAM, 2010

² (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

4.1.1 Consumo humano. El agua destinada para el consumo humano se refiere a la cantidad mínima que es requerida por una persona (per cápita) para satisfacer sus necesidades básicas como son: consumo directo, alimentación, higiene, lavado de ropa, entre otras. El consumo per cápita no es el mismo para todos los habitantes de una población; este depende de factores relacionados principalmente con la cantidad de beneficiarios del sistema (Acueducto), la temperatura de la zona en la que se asienta la población, su localización altitudinal y la eficiencia de conducción y distribución del caudal.

Para efectos de estimar la cantidad de agua requerida por una persona, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, establece en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en su Título B. Sistema de Acueducto (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000) su metodología de cálculo; esta, es descrita brevemente a continuación.

Dotación Neta

La dotación neta hace referencia a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades de un habitante y en la que no se consideran pérdidas.

Dotación neta máxima

Según lo establecido en la Resolución 2320 del 2009, la dotación neta máxima depende del nivel de complejidad del sistema, y varía en función del clima de la población, considerando aquellas sobre los 1000 m.s.n.m. como poblaciones con clima frío o templado, y aquellas ubicadas por debajo de dicha altura como poblaciones con clima cálido.

Tabla 1. Dotación neta máxima de acuerdo al nivel de complejidad

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frío o Templado (lt/hab-día)	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Cálido (lt/hab-día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. TITULO B. Sistema de Acueducto. Santa Fé de Bogotá.

Correcciones a la dotación neta

- **Efecto del clima en la dotación neta:**

Teniendo en cuenta el clima predominante en el municipio, la dotación neta se puede afectar considerando lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 2. Corrección a la dotación neta según el clima y complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (Más de 28°C)	Clima templado (Entre 20°C y 28°C)	Clima frío (Menos de 20°C)
Bajo	15%	10%	No se admite corrección por clima
Medio	15%	10%	
Medio alto	20%	15%	
Alto	20%	15%	

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. TITULO B. Sistema de Acueducto. Santa Fé de Bogotá

- **Pérdidas**

De acuerdo a lo expuesto en el RAS, 2000 se tienen que los porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas son los que se relacionan a continuación.

Tabla 3. Porcentajes máximos admisibles de pérdidas para el cálculo de la dotación bruta

Nivel de complejidad del sistema	Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas para el cálculo de la dotación bruta
Bajo	40%
Medio	30%
Medio alto	25%
Alto	20%

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. TITULO B. Sistema de Acueducto. Santa Fé de Bogotá

Teniendo en cuenta lo anterior, el porcentaje de reducción escogido es del 20% cumpliendo adicionalmente con la Resolución 2320 de 2009, en la que se establece que las pérdidas técnicas máximas admisibles no deberán superar el 25%.

Dotación bruta

La dotación bruta se establece según la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

4.1.2 Demanda de agua para el sector agrícola. Esta demanda se refiere a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, a fin de compensar el déficit de humedad del suelo durante un periodo vegetativo y que comúnmente se conoce como módulo de riego.

Para estimar cuanto volumen de agua es requerido para suplir los requerimientos de un cultivo es necesario:

- Conocer los diferentes parámetros hidrodinámicos que gobiernan el comportamiento del agua en el suelo, entre los que se tienen la textura, estructura y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.
- Reconocer las características del clima dominante en la zona, haciendo principal énfasis en la variable precipitación y evapotranspiración.
- Identificar el cultivo a regar junto con su profundidad radicular, nivel de agotamiento y uso consuntivo.
- Tipo de riego a utilizar.

A continuación, se presentan los parámetros requeridos para estimar un módulo de riego.

- **Lámina de agua aprovechable (LAA):** Hace referencia a la cantidad de agua disponible en determinado suelo para la planta, y depende de los parámetros de retención de humedad y de la profundidad efectiva radicular del cultivo, Entre mayor sea esta Lámina, mayor es el agua disponible para las plantas y mayor la cantidad de días que constituyen la frecuencia de Riego,

$$LAA = \frac{(CC - PMP) \times \rho_a \times Pr}{\rho_w}$$

Dónde:

LAA: Lámina de agua aprovechable (cm)

CC: Capacidad de campo del suelo en términos de fracción

PMP: Punto de marchitez permanente del suelo en términos de fracción

D_a : Densidad aparente del suelo (gr/cm³)

Pr : Profundidad efectiva radicular (cm)

D_w : Densidad del agua (gr/cm³)

- **Lámina neta de riego (Ln):** La lámina neta de riego corresponde a la humedad de déficit, es la cantidad de agua que debe quedar en la zona de raíces de las plantas, para llevar el suelo a capacidad de campo después de

un riego, y que a su vez, corresponderá a la cantidad de agua que puede consumir el cultivo entre dos riegos consecutivos, Para determinar la lámina neta de riego, es necesario conocer la humedad aprovechable del suelo, el umbral de riego y la profundidad de raíces que se van a mojar, Entonces:

$$Ln = \frac{LAA \times UR(\%)}{100}$$

Donde:

LN: Lámina neta de riego a reponer (mm)

LAA: Lámina de agua aprovechable (mm)

UR: Umbral de riego (%)

Nota: Un milímetro de lámina neta calculada corresponde a 10 m³/ha

- **Lámina bruta (Lb):** Es la cantidad de agua que debe aplicarse en cada riego a la superficie del terreno, de manera que se pueda asegurar una penetración suficiente de agua que permita retener en la zona radicular la Lámina neta (Ln),

En ninguno de los riegos es posible lograr un 100% de eficiencia en la aplicación de agua ya que no toda el agua que penetra, es retenida en la zona radicular del cultivo, Existen pérdidas inevitables, causadas por la desuniformidad en la aplicación de agua en el campo, por la percolación más abajo de la zona radicular y por el escurrimiento superficial,

Para estar seguro que la cantidad de agua neta que debe ser reemplazada en cada riego penetra y es retenida en la zona radicular, es necesario aplicar una mayor cantidad de agua al terreno, con el fin de contrarrestar las pérdidas, Esta cantidad de agua se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Ln}{Ea}$$

Dónde:

Lb: Lámina bruta (mm)

Ln: Lámina neta de riego (mm)

Ea: Eficiencia de aplicación del equipo de riego

- **Eficiencia de aplicación (Ea)**

Es un parámetro que está estrechamente relacionado con el método de riego que se utilice para la aplicación de la lámina de agua requerida,

Con el riego se debe aplicar la cantidad de agua necesaria para elevar el contenido de agua del suelo a capacidad de campo, El volumen real que se requiere, va a depender de la eficiencia que provea el método de riego que se utilice, La eficiencia de aplicación es el cociente entre el volumen de agua que es necesario reponer en la zona de raíces y el volumen aplicado durante el riego, Dicha eficiencia se expresa como porcentaje,

Para un método de riego determinado, la eficiencia de aplicación depende de:

- Calidad del diseño del método.
- Habilidad del regador u operador del equipo de riego.
- Características de terreno.
- **Frecuencia de riego:** Hace referencia al intervalo de tiempo que deben pasar entre riegos sucesivos, lo cual depende del tipo de cultivo, la pérdida de agua en el suelo y el sistema de riego implementado,

De esta forma, el riego se debe realizar cuando el contenido de agua disponible en el suelo sea lo suficiente alto, de manera que el suelo puede suministrar agua con la rapidez necesaria para compensar las exigencias de la planta sin que esta sufra algún trastorno que pueda reducir el rendimiento del cultivo, Para ello, el cálculo de la frecuencia de riego se realizará a partir de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), la lámina Neta (LN) y la precipitación efectiva como se muestra a continuación,

$$Fr = \frac{LN}{ET_c - Pe}$$

Dónde:

Fr: Frecuencia de riego, en días,

Ln: Lamina neta de riego (mm),

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Pe: Precipitación efectiva

Finalmente, el módulo de riego se obtiene mediante la aplicación de la siguiente expresión,

$$MR = \frac{A \times DB \times K}{Fr \times Jr}$$

Dónde:

A: Área de la parcela (Has)

Db: Demanda bruta de riego (cm)

K: Factor de conversión a litros por segundo ($K = 27,78$)

- Fr:** Frecuencia de riego (días)
Jr: La jornada de riego (horas)

4.1.2 Demanda de agua para el sector pecuario. El IDEAM, 2010 establece la demanda hídrica de este sector “***hace referencia a cada uno de los componentes del consumo de agua en la cadena productiva, teniendo en cuenta las etapas de cría, levante y sacrificio de ganado, más el consumo del recurso en labores de manejo de la población en los diferentes lugares de alojamiento y beneficio (porquerizas, galpones, plantas de sacrificio y hatos ganaderos)***”. Para la cuantificación de los módulos de consumo de este sector, existen valores tabulados por el IDEAM, 2010 y por otras entidades gremiales, como por ejemplo Fedegan, Porkcolombia, entre otras.

4.2 OFERTA HÍDRICA

La oferta hídrica superficial de acuerdo con lo establecido por el IDEAM, 2010, es “el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial”. Su cuantificación se realiza a partir de la escorrentía superficial, que a su vez se deriva de la interacción entre la precipitación y la evapotranspiración real, componentes del ciclo hidrológico.

4.2.1. Ciclo hidrológico. “***Sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la Tierra y en su retorno a la misma: evaporación del agua del suelo, del mar y de las aguas continentales, condensación en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación***” (OMM, 2012).

Las principales componentes del ciclo hidrológico analizadas desde el punto de vista de la oferta hídrica superficial son: La precipitación, la evapotranspiración real y la escorrentía superficial.

- ***Precipitación:*** esta componente incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. Su formación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense (Chow, 1994). Esta variable climática es la responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida tanto de animales como de vegetales, que requieren del agua para vivir. IDEAM, 2010.
- ***Evapotranspiración real:*** esta variable es la resultante de la suma de los procesos de evaporación desde la superficie del suelo y transpiración por parte de las plantas, bajo una condición de humedad del suelo natural.

- **Escorrentía superficial:** parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo y se concentra en los cauces y cuerpos de agua. Es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.

La interacción de las variables mencionadas se simplifican en el Balance hídrico, el cual de acuerdo con la OMM, 2012 es un “Balance de agua basado en el principio de que durante un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua”. La formulación matemática que representa de manera simplificada el balance hídrico es la mostrada a continuación.

$$ESC = P - ETR$$

ESC: Escorrentía hídrica superficial (mm)

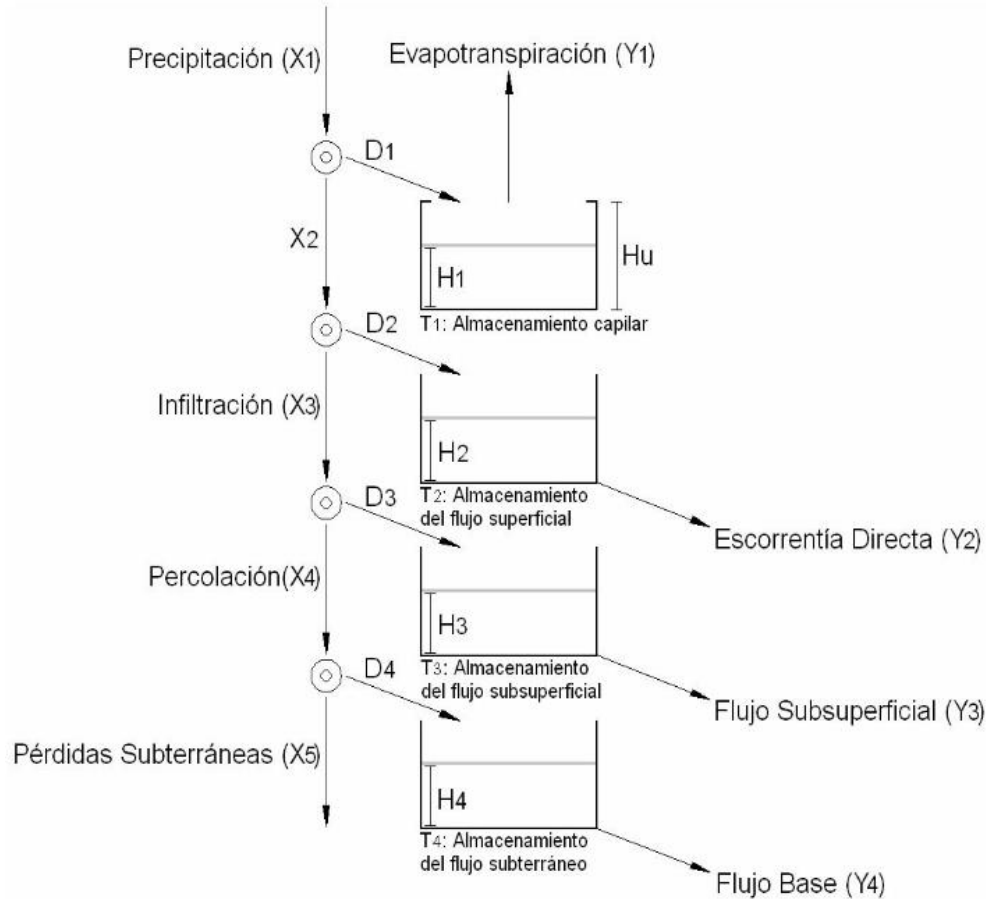
P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm)

Metodologías que permiten estimar la oferta hídrica superficial de una cuenca en la actualidad son bastantes, sin embargo estudio adelantados en cuencas de la región andina colombiana por la Universidad Nacional (AGUAS Y AGUAS DE PEREIRA Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2004) plantean como elemento útil el Modelo Agregado de Tanques estudiado por Vélez (Vélez, 2001).

El modelo se reconoce con el nombre de “Modelo Agregado de Tanques”, puesto que su estructura representa la producción de escorrentía superficial en una cuenca mediante cuatro tanques interconectados entre sí; dichos tanques simulan procesos como: interceptación, detención, infiltración, evapotranspiración, recarga del acuífero, y escorrentía superficial y subsuperficial, retorno del flujo base y flujo en los canales de la red de drenaje. En la Figura 2 se muestra la representación gráfica del modelo aplicar.

Figura 2. Esquema conceptual del modelo Agregado de Tanques



Fuente: Vélez, J. (2001). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ingeniería.* Valencia, España.

En cada intervalo de tiempo, la precipitación (X_i) se distribuye a los distintos almacenamientos, donde en función del volumen almacenado en cada uno de ellos (H_i), se determina su contribución a la escorrentía (Y_i). (Amaya, Restrepo, Velez, Velez, & Alvarez, 2009).

La precipitación se estima considerando los registros de las estaciones que presentan influencia en el área de estudio, empleando alguno de los métodos de interpolación espacial disponible. La cantidad de agua que se deriva en cada nodo (D_i) y la que continua hacia los niveles inferiores (X_i) por el conducto distribuidor depende de la cantidad de agua disponible, el estado del almacenamiento del tanque y de la capacidad del conducto distribuidor aguas abajo del nodo, la cual se puede relacionar con la conductividad hidráulica en el subsuelo (Vélez, 2001)

A continuación, y basados en lo expuesto por Amaya et al, 2009 se describe en detalle el proceso de generación de escorrentía a través del paso de agua por cada uno de los tanques.

Tanque No 1: Tanque de almacenamiento capilar

En este tanque se representan aquellos fenómenos relacionados con la interceptación de agua en la cobertura vegetal, la detención de agua en la superficie del suelo y la retención de agua debida a las fuerzas capilares del mismo. En este tanque no existe un aporte a la escorrentía superficial puesto que la única salida de agua está dada por la evapotranspiración real.

La lluvia ingresa al conducto del que se deriva una cantidad D_1 al tanque T1, que se supone tienen una capacidad máxima de almacenar agua igual a la capacidad de almacenamiento de agua útil del suelo (H_u) más la capacidad que presenta la cobertura de la superficie para almacenar agua.

Así, a menos que se llene el almacenamiento capilar, no se deja pasar nada a la escorrentía. En la realidad puede haber escorrentía sin que necesariamente se haya llenado el almacenamiento capilar en el suelo. Entonces se utiliza un coeficiente φ para lograr que la cantidad de agua que se deje pasar corresponda a una fracción de la lluvia que está relacionada con el estado del almacenamiento capilar tal que, cuando este almacenamiento esté muy lleno deje pasar mucho, y cuando está muy vacío deje pasar poco. En este caso D_1 corresponde a:

$$D_1 = \text{Min}(\varphi \cdot X_1, H_u - H_1)$$

Donde

$$\varphi = 1 - \left(\frac{H_1}{H_u}\right)^a$$

Este esquema ha sido utilizado por varios modelos conceptuales agregados. Es el caso del modelo HBV (Bergström, 1995) en el que puede tomar valores entre 1 y 3, y es un parámetro que define el analista. Otro caso es el de los modelos GR-3J y GR-3H (Arnaud & Lavabre, 1996) y GR-4J (Perrin, Michel, & Andreassian, 2003) en los que es igual a 2.

La evapotranspiración real Y_1 depende de la cantidad de agua disponible en el tanque H_1 , así cuando hay déficit de agua en el suelo la evapotranspiración es menor que la evapotranspiración potencial ETP. Varios autores han utilizado una expresión en la que se obtiene un estimado de la evapotranspiración real a partir de la evapotranspiración potencial y de la relación entre la humedad del suelo y la capacidad de campo. En el modelo, la relación entre la humedad del suelo y la

capacidad de campo equivale a la relación entre el agua que se encuentra en el almacenamiento estático y la capacidad máxima para ese almacenamiento, así:

$$Y_1 = ETP \cdot \left(\frac{H_1}{H_U}\right)^b$$

En los modelos GR-2 y GR-3 del CEMAGREF (Michel, 1989) se utiliza una expresión muy similar a la anterior y el parámetro tiene un valor de 0,5. Igualmente el modelo HBV (Bergström, 1995) utiliza una expresión equivalente cuando $L=1$. Singh y Dickinson (1975) obtienen buenos resultados con $G=0,7$. Además, en el modelo se tiene en cuenta que el valor de la evapotranspiración real no puede ser mayor que el agua disponible para evaporación en este almacenamiento estático, así:

$$Y_1 = \text{Min} \left[ETP \cdot \left(\frac{H_1}{H_U}\right)^b, H_1 \right]$$

De acuerdo con lo propuesto en el modelo, el agua que no ingresa al almacenamiento estático T1, está disponible para la infiltración y para la escorrentía superficial directa, así:

$$X_2 = X_1 - D_1$$

Tanque No 2: Almacenamiento de flujo superficial

En este almacenamiento se representa el agua que fluye por la ladera o escorrentía directa. Se supone que la capa superior del suelo tiene una conductividad hidráulica K_s representativa o característica y que se asocia al tipo de suelo y a su estructura, lo cual está relacionando la cobertura vegetal, el uso y el manejo del suelo.

Por lo tanto, la cantidad de agua que entra al almacenamiento T2, está relacionada con la capacidad del suelo para dejar pasar el agua a su interior K_s (una conductividad hidráulica de la capa superior del suelo asociada a la cobertura en condiciones de saturación) y con el flujo excedente del almacenamiento capilar X_2 según la siguiente relación:

$$D_2 = \text{Max}(0, X_1 - K_s)$$

Para el flujo superficial en la cuenca, suponiendo velocidad constante y aplicando la ecuación de continuidad, la escorrentía directa se puede representar mediante un embalse lineal:

$$Y_2 = \alpha_1 - H_s$$

$$\alpha = \frac{1}{T_{r2}}$$

El agua que no ingresa al almacenamiento estático T_2 , sigue su camino por la zona de la capa superior del suelo hacia la capa inferior

$$X_3 = X_2 - D_2$$

Tanque No 3: Almacenamiento del flujo subsuperficial

Este almacenamiento representa el agua almacenada en la capa superior del suelo mientras fluye lentamente hacia la red de drenaje, se desarrolla inicialmente sobre una capa delgada que fluye lateralmente hacia abajo por el interior de esta capa hasta que sale a los elementos de la red de drenaje. De acuerdo con lo propuesto en el modelo, durante el intervalo de tiempo, se tiene una cantidad de agua gravitacional X_3 que se mueve verticalmente hacia el interior del suelo. De esta cantidad, una parte X_4 , podrá percolar o seguir hacia la zona inferior del suelo, mientras que el resto del agua se deriva al almacenamiento superior del suelo donde se convertirá en flujo subsuperficial. Se supone igualmente que la capa inferior del suelo tiene una capacidad de percolación representativa que se asocia al tipo de subsuelo y su estructura, lo cual está estrechamente relacionado con las características geológicas (litológicas y estructurales) y geomorfológicas de las capas inferiores del suelo. En algunos casos la capacidad de percolación y su variabilidad espacial se pueden inferir por características del relieve, algunos rasgos morfológicos, el desarrollo de la vegetación, el uso y manejo del suelo y la producción de flujo base aguas abajo. La cantidad de agua que ingresa al almacenamiento durante el intervalo de tiempo se puede asociar con el flujo excedente del almacenamiento del flujo superficial en ladera X_3 y la conductividad hidráulica en la capa inferior del suelo (subsuelo) en condiciones de saturación que se conoce como capacidad de percolación K_p y que se expresa

$$D_3 = \text{Max}(0, X_3 - K_p)$$

Para la producción de escorrentía subsuperficial en la ladera se hace una formulación análoga a la presentada en el almacenamiento T_2 para obtener la siguiente relación lineal:

$$Y_3 = \alpha_3 - H_3$$

Donde

$$\alpha = \frac{1}{T_{r3}}$$

Tanque No 4: Almacenamiento subterráneo

Se representa por un tanque donde se considera el almacenamiento del agua gravitacional mientras fluye a través del interior del suelo hacia la red de drenaje, en lo que se podría considerar como el acuífero, y donde sale a formar el flujo base. El volumen de agua que durante el intervalo de tiempo ingresa por percolación X_4 tiene la posibilidad de que una cantidad de agua siga hacia las pérdidas subterráneas X_5 y que el resto sea derivado hacia el almacenamiento subterráneo T4.

$$D_4 = \text{Max}(0, X_4 - K_5)$$

Para la representación del flujo a través del almacenamiento subterráneo, se utiliza la ecuación de continuidad y una ecuación que relaciona la tasa de flujo que sale de este almacenamiento con la cantidad de agua almacenada:

$$Y_4 = \alpha_4 - H_4$$

Donde

$$\alpha_4 = \frac{1}{T_{r4}}$$

Finalmente, el caudal total en la cuenca para cada intervalo de tiempo es la suma del flujo producido en cada tanque o almacenamiento.

$$Q = (Y_2 + Y_3 + Y_4)A$$

Donde A es el área de la cuenca hidrográfica.

4.2.2. Oferta hídrica superficial total. Como su nombre lo indica, la OHST es la cantidad total de agua que escurre por la superficie del suelo y que forma los sistemas de drenaje.

4.2.2. Oferta hídrica superficial disponible. Esta oferta es el resultado de la diferencia entre la OHST y el caudal ambiental. Este último definido como el caudal que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural y funciones ambientales tales como: purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos, recreación y pesca, entre otros (Davis y Hirji, 1999; García de Jalón y González del Tánago, s. f.).

4.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

Los sistemas de información, son herramientas, que permiten el tratamiento y administración de datos, con la intención de facilitar la toma de decisiones.

Proporcionando al público en general la información que se requiere mediante el uso de las tecnologías de la información.

En los últimos años se ha generalizado el uso del término Sistema de Información Geográfica (Geographical Information System - GIS) o SIG. Los SIG han sido ampliamente utilizados para denominar el tratamiento de datos geográficos georreferenciados a través de medios automatizados. Existen diversas definiciones, considerando que ninguna es universalmente aceptada por basarse en diferentes enfoques orientados a los procesos del sistema, su aplicación, las herramientas que debe contener o la estructura y eficiencia de la base de datos y, sobre todo, el análisis y manejo de la información (Iturbe et al., 2011).

4.3.1. Software para al adiministracion de los SIG. El elemento que marca la diferencia entre los Sistemas de Información Geográfica y otras tecnologías relacionadas lo constituyen las altas funcionalidades para el manejo y análisis de datos geográficos. La tecnología SIG brinda enormes recursos para el análisis espacial para las tomas de decisiones para la resolución de problemas, todos ellos relacionados con cuestiones territoriales. El mercado de los SIG es sumamente amplio: empresas relacionadas con utilidades, gobierno a nivel nacional, estatal y local, agencias ambientales, instituciones de investigación, entre otros, son algunos ejemplos de usuarios de esta geotecnología (Iturbe et al., 2011).

A continuación, se mencionan algunos ejemplos de programas de cómputo de sistemas de información geográfica:

- ArcGIS (www.esri.com)
- QGIS (<http://www.qgis.org/es/site/>)
- GVSIG (<http://www.gvsig.com/es>)
- GRASS (Geographic Resource Analysis Support System)
- IDRISI (www.idrisi.com)
- ILWIS (Integrated Land and Water Information System)

4.3.2. Bases de datos espaciales. Una base de datos es una gran colección de datos interrelacionados almacenados en un entorno informático. En estos entornos, los datos son persistentes, lo que significa que sobrevive a problemas inesperados de software o hardware; excepto en casos de daños en el almacenamiento. Una base de datos se puede ver como uno o varios archivos almacenados en algún dispositivo de memoria externa (Rigaux, Scholl, & Voisard, 2002).

4.3.2.1 Dominios y Subtipos. Los dominios representan la lista o rango de valores válidos para las columnas de atributos. Estas reglas controlan la forma en que el software mantiene la integridad de los datos en ciertas columnas de atributos.

4.3.2.2 Features Class. Las clases de entidades son conjuntos homogéneos de características comunes, cada uno con la misma representación espacial, tales como puntos, líneas o polígonos, y un conjunto común de campos o columnas de atributos. Las cuatro clases de entidades más comunes utilizados en la geodatabase son puntos, líneas, polígonos y anotaciones.

4.3.2.3 Clases de Relaciones. Se utilizan para modelar la forma en que las entidades comparten la geometría con otras entidades. Las topologías y otros tipos avanzado proporcionan un mecanismo fundamental y muy utilizado para habilitar los comportamientos espaciales y hacer cumplir la integridad en las bases de datos en los SIG.

4.3.2.4 Relaciones. Son reglas espaciales Se utilizan para modelar la forma en que las entidades comparten la geometría con otras entidades. Las topologías y otros tipos avanzado proporcionan un mecanismo fundamental y muy utilizado para habilitar los comportamientos espaciales y hacer cumplir la integridad en las bases de datos en los SIG.

4.4. INDICE DEL USO DEL AGUA

El índice de uso de agua, conocido como IUA hace referencia de acuerdo con lo establecido por el IDEAM, 2010, a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en una unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades espaciales.

Su determinación se realiza mediante la aplicación de la siguiente expresión matemática:

$$IUA = \left(\frac{Dh}{Oh} \right) \times 100$$

Donde:

Dh: Demanda hídrica sectorial

Oh: Oferta hídrica superficial disponible (resultado de la oferta hídrica natural o total menos la cantidad de agua designada como caudal ambiental).

En la Tabla 4 se presentan los rangos y las categorías para el índice del uso del agua propuestos por el IDEAM, 2015.

Tabla 4. Rangos y Categorías del Índice de Uso del Agua (IUA).

Rango	Categoría IUA	Significado
>100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50.01-100	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 – 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 – 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1-10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
<1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua* . Santa Fé de Bogotá .

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

Las dificultades actuales para conocer la dinámica por factores antrópicos de una cuenca hidrográfica, exponen la necesidad de implementar sistemas de información que permitan almacenar y procesar los datos de usos del agua y demás información necesaria para optimizar la gestión del recurso hídrico.

La primera fase para el diseño un SIG local es la base para la construcción de la investigación aplicada que se lleva a cabo por parte de la corporación, que involucra el recurso hídrico con la intención de determinar la disponibilidad de agua dentro de una cuenca hidrográfica, y de esta manera con base en la determinación del índice del uso del agua, regular y controlar la extracción del recurso en aras de la conservación de los ecosistemas.

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Fase 1. Recolección de información, ajuste y edición.

Como actividades iniciales para la ejecución del presente proyecto se tienen aquellas relacionadas con la recopilación, ajuste, edición y validación de información del orden primario y secundario.

- **Actividad 1. Información primaria.** en la que se clasifica toda aquella información es que obtenida directamente de la zona objeto de estudio, mediante la aplicación de diversos mecanismos entre los que se tienen:
 - Aplicación de encuestas agropecuarias a usuarios actuales y potenciales del recurso hídrico.
 - Georeferenciación de cauces hídricos, obras hidráulicas, canales y/o elementos conductores y tomas prediales

La georeferenciación fue ejecutada con la ayuda de un GPS. Calibrado con sistema de referencia WGS 1984

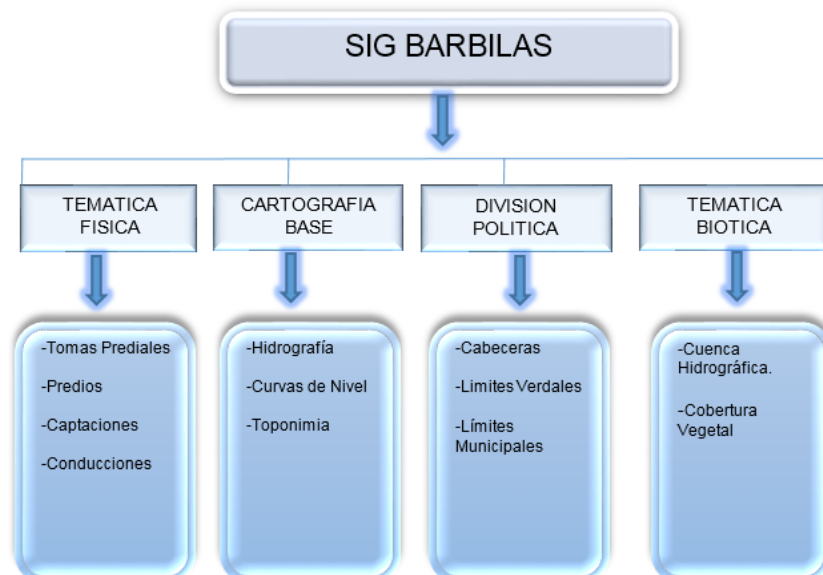
- **Actividad 2. Información secundaria.** Aquella información almacenada y procesada por fuentes que en su mayoría son de carácter institucional tales como planchas cartográficas del IGAC a escala 1.25.000, Planes de ordenamiento del recurso hídrico, información hidrometeorológica, entre otras.

- **Actividad 3. Ajuste.** Dado que se requirió integrar la información primaria y secundaria, se llevaron a cabo los siguientes pasos.
 - Migración de información en formato DWG (AutoCAD) a formato DXF (archivo de intercambio), para posteriormente utilizando ArcGis 10.3 exportarlo a formato SHP (Shapefile).
 - Extracción de curvas de nivel del Modelo Digital de Elevación procedente de la imagen de satélite ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model) para la zona de influencia del proyecto.
 - Con relación a los predios usuarios del recurso hídrico, se digitalizaron y vectorizaron los predios de acuerdo con información de las planchas catastrales rurales del IGAC. También, cada predio fue objeto de verificación de su información jurídica con relación a la tenencia y extensión.
 - Para toda la información en formato shapefile y feature class relacionada con hidrografía, topografía, predios, etc, se verificaron aspectos de consistencia lógica de los atributos, exactitud temática y topológica.
 - Todas las entidades que hacen parte de la base de datos GDB se proyectaron y ajustaron al sistema de referencia aplicable para la zona.

5.2.2 Fase 2. Creación de una base de datos.

Con la información primaria y secundaria previamente obtenida, analizada y ajustada, se la elabora una base de datos donde se indican los contenidos y las diversas características evaluadas para los elementos.

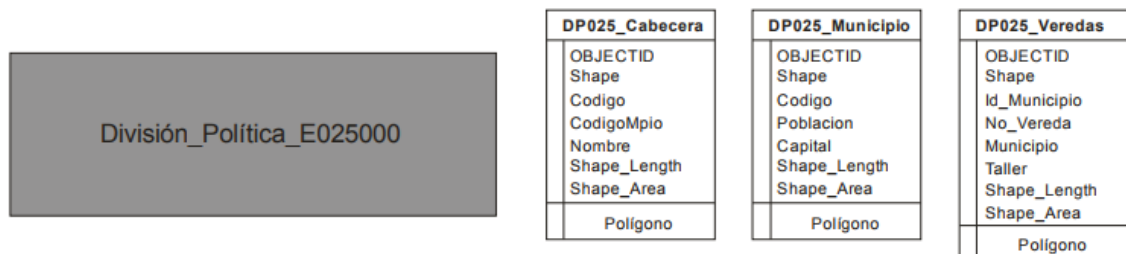
Figura 3 Requerimientos de información para la estructuración de la base de datos



Modelo de Datos

En él se retoman los conjuntos de datos y cada uno de los objetos espaciales o no espaciales que lo componen y se relacionan los atributos (campos de la tabla que conforma el dato) que ha de contener cada objeto, así como su representación espacial. Es el punto de partida para la construcción posterior del Diccionario de Datos. A modo de ejemplo, se relaciona a continuación una parte del modelo de datos que le correspondería a la GEODATABASE construida para el proceso SIG de la cuenca hidrográfica Barbillas.

Figura 4 Modelo de Datos Cuenca Hidrográfica Barbillas

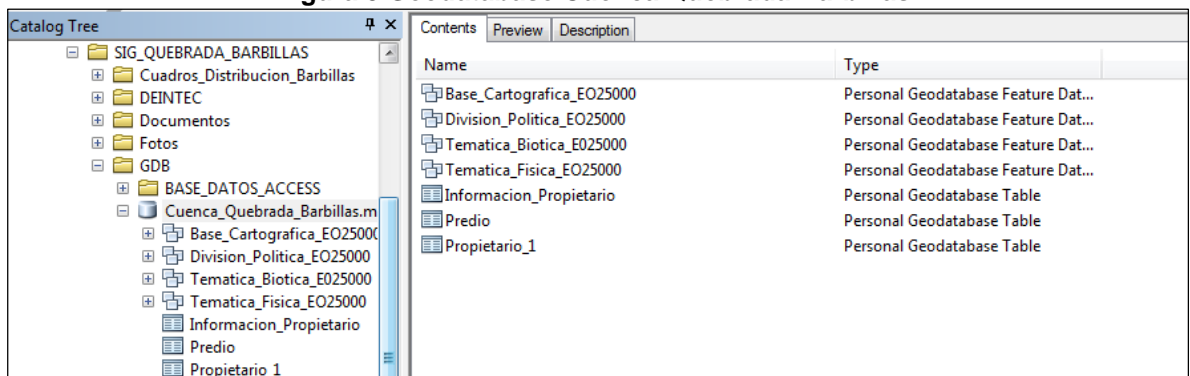


Sistema de Referencia

La información geográfica generada y adquirida por las entidades del Estado, utilizara el Sistema de Referencia MAGNA-SIRGAS, como sistema adoptado por Colombia (IGAC, 2005), por lo que van a ser necesarios procesos de migración al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS cuando la autoridad ambiental este utilizando otros sistemas.

Se creó una file geodatabase debido a que esta tiene mayor capacidad de almacenamiento. "Cuenca_Quebrada_Barbillas".

Figura 5 Geodatabase Cuenca Quebrada Barbillas



Datasets

Base_Cartografica_EO25000: Este dataset almacena la información de la cartografía básica que sirve como referencia para el área de estudio. Se adopta el sistema de referencia recomendado por la CAM, MAGNA_Colombia_Bogota y se incorpora a la Geodatabase Cuenca_Quebrada_Barbillas.

Division_Politica_EO25000: Este dataset almacena la información de la División Política, que sirve como referencia para el área de estudio. Se adopta el sistema de referencia recomendado por la CAM, MAGNA_Colombia_Bogota y se incorpora a la Geodatabase Cuenca_Quebrada_Barbillas.

Tematica_Biotica_EO25000: Este dataset almacena la información de la Temática Biótica, que sirve como referencia para el área de estudio. Se adopta el sistema de referencia recomendado por la CAM, MAGNA_Colombia_Bogota y se incorpora a la Geodatabase Cuenca_Quebrada_Barbillas.

Tematica_Fisica_EO25000: Este dataset almacena la información de la Temática Física, que sirve como referencia para el área de estudio. Se adopta el sistema de referencia recomendado por la CAM, MAGNA_Colombia_Bogota y se incorpora a la Geodatabase Cuenca_Quebrada_Barbillas.

Features Class

Se agrupa la información de diferentes fuentes en la geodatabase, con el objetivo de estandarizar la información, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5 Estructuración de la Información

FEATURE DATA SET	FEATURE CLASS
Base_Cartografica_EO25000	BC025_Afluentes_Barbillas_
	BC025_Afluentes_Barbillas_IGAC_25000_
	BC025_Cauce_Qda_Barbillas_
	BC025_Cauce_Rio_La_PlataI_GAC_25000_
	BC025_Curvas_de_Nivel_IGAC_25000
	BC025_Toponimia_IGAC_25000
	BC025_Vias_Veredales_
Division_Politica_EO25000	DP025_Cabeceras
	DP025_Municipio
	DP025_Veredas
Tematica_Biotica_EO25000	TB025_Cobertura_Vegetal
	TF025_Captaciones
	TF025_Conducciones
	TF025_Cuenca_Barbillas
Tematica_Fisica_EO25000	TF025_Prediales
	TF025_Predios_Cuenca_Barbillas
	TF025_Predios_Totales
	TF025_Tomas_Prediales
	TF025_Unidades_Cartograficas

Dominios y Subtipos

Se establecieron los subtipos, que permitan facilitar la clasificación de las captaciones que abastecen hídricamente a los usuarios de la quebrada barbillas.

Figura 6 Subtipos Captaciones quebrada Barbillas

Code	Description
1	Bocatoma de Fondo
2	Bocatoma Artesanal
3	Bocatoma Artesanal Sin Documentacion

La base de datos elaborada puede ser consultada en el anexo A.

De la creación de la base de datos, se deriva la demanda hídrica para cada sector socioeconómico de los usuarios y se totaliza la demanda hídrica derivada de la quebrada Barbillas, Tomando como punto de partida la información, de las capas temáticas Captaciones, que es una capa tipo punto, que contiene la información necesaria para identificar geográficamente el sitio donde se extrae el recurso hídrico de la quebrada. Posteriormente con la capa temática Tomas prediales, que también es tipo punto y contiene la información geográfica del sitio a donde los usuarios llevan finalmente el recurso agua, y también dentro de esta capa se tiene información de los usos para los cuales se va a efectuar el aprovechamiento del agua, se procede en combinación con los módulos consumo a definir la necesidad de agua que se requiere para abastecer las necesidades de los pobladores del área de estudio.

5.2.3 Fase 3. Estimación de demanda y oferta hídrica de la cuenca hidrográfica.

Considerando la información suministrada por el IDEAM, se estimó la oferta hídrica. Por otra parte, como producto de la identificación de usos y aprovechamientos del agua y la caracterización de las diferentes unidades cartográficas de suelo y la definición de otros parámetros requeridos, se cuantificaron los caudales derivados de la quebrada Barbillas.

5.2.4 Fase 4. Estimación del índice del Uso del Agua.

Considerando la información relacionada con los usuarios, la oferta hídrica superficial y la demanda hídrica, se categorizó la presión de la demanda sobre la oferta hídrica mediante la estimación del índice de uso del Agua aplicando la metodología establecida por el IDEAM, 2010.

5.2.5 Fase 5. Salidas cartográficas.

En esta fase se elaboran todas salidas cartográficas derivadas del proyecto de reglamentación de la quebrada Barbillas.

6. RESULTADOS

6.1 RECOPIACION DE LA INFORMACION

Para el óptimo desarrollo de la Evaluación de la presión de la demanda sobre la oferta hídrica en la quebrada Barbillas, se recopilan diferentes tipos de información espacial que van desde la cartografía base generada por el IGAC y suministrada a la Corporación, información recolectada en campo y procesada en oficina, e información temporal hidroclimatológica del IDEAM. La siguiente Tabla resume la información espacial recopilada para el proyecto indicando los formatos en los que se encuentra.

Tabla 6. Recopilación de Información

Información	Fuentes	Formato	Escala
Afluentes Barbillas	Levantamiento en Campo	Shp	1:1
Afluentes Barbillas Igac	Cartografía Igac	Shp	1:25000
Cauce Qda Barbillas	Levantamiento en Campo	Shp	1:1
Cauce Rio La Plata	Cartografía Igac	Shp	1:25000
Curvas de Nivel	Cartografía Igac	Shp	1:25000
Toponimia	Cartografía Igac	Shp	1:25000
Vías Veredales	Levantamiento en Campo	Shp	1:1
Estaciones Hidroclimatológica	Ideam	Shp	--
Cabeceras	Dane	Shp	1:25000
Limite Municipal	Dane	Shp	1:25000
Limites Veredas	Cam	Shp	1:25000
Cobertura Vegetal	Cam	Shp	1:25000
Predios	Sigot-Igac	Shp	1:25000
Captaciones	Levantamiento en Campo	Shp	1:1
Levantamiento en Campo	Levantamiento en Campo	Shp	1:1
Cuenca Barbillas	Cam	Shp	1:25000
Tomos Prediales	Levantamiento en Campo	Shp	1:1
Unidades Cartográficas	Cam	Shp	1:25000

Tal como se puede observar en la tabla anterior, el formato de los archivos requeridos es shp, lo cual facilita un poco la creación de una base de datos con la intención de incorporar los elementos en un único lugar para una adecuada administración.

6.2 GEOREFERENCIACION

6.2.1. CAUCE PRINCIPAL Y PRINCIPALES AFLUENTES.

Se efectuó el levantamiento del cauce principal de la quebrada barbillas y sus principales afluentes, con GPS de mano Marca Garmin, encontrándose una longitud total de 29.9 km correspondientes a cuerpos de agua potenciales identificados dentro de la cuenca.

6.2.2. CAPTACIONES Y TOMAS PREDIALES

Se identificaron los diferentes usuarios que se abastecen hídricamente de la quebrada barbillas, y se clasificaron las captaciones de acuerdo al tipo, dentro esta clasificación de captaciones encontramos las captaciones artesanales, típicas de usuarios individuales, que conducen el agua desde la fuente hídrica hasta su vivienda, con manguera de polietileno.

Y las captaciones de fondo, las cuales son obras hidráulicas más sofisticadas que pertenecen propiamente a los acueductos. (Acueducto Veredal San Juan, Acueducto Veredal las Mercedes, Acueducto Municipal “EMSERPLA”).

Dentro de la cuenca se encontraron en total 175 usuarios que hacen aprovechamiento del recurso hídrico.

Figura 7 Captación de Fondo

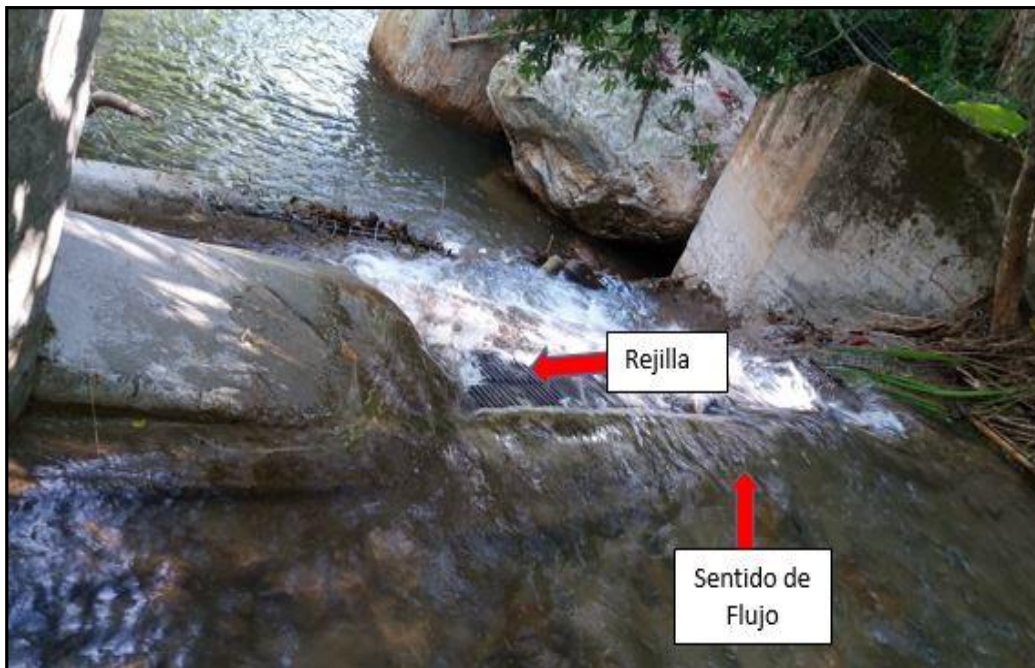




Tabla 7 Esquematización de la información recolectada

Usuario	Coordenadas			Imagen
	Este	Norte	Altura	
Eliecer Castillo Pajoy	790425	756708	2127	 <p>A photograph showing a streambed with rocks and some vegetation. A red arrow points to the right, labeled 'Sentido del Flujo'. Another red arrow points to a specific spot on the rocks, labeled 'Captación'.</p>
Cesar Torres	792881	756877	1712	 <p>A photograph of a stream with a white bag placed in the water as a capture point, labeled 'Captación'. A black hose is connected to the bag, labeled 'Manguera 1\"'.</p>

6.3. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL

Para evaluar la demanda de agua, se identificaron las concesiones de agua otorgadas en la cuenca, y la información levantada en campo con lo cual se elaboró una base de datos con información alfanumérica y gráfica, la cual incluye fotografías de cada una de las captaciones; facilitando la identificación de las mismas.

Dentro de la base de datos se integró la información de 175 usuarios, que contiene la información necesaria que le permitirá a la autoridad ambiental visualizar, planificar y tomar decisiones que contribuyan a la conservación del recurso hídrico.

Con la implementación de la base de datos geográfica se logró obtener los siguientes productos.

- Delimitación de la Cuenca Hidrográfica
- Identificación de las zonas de mayor concentración de usuarios
- Identificación de Unidades Cartográficas en el área de Estudio
- Verificación de usos y aprovechamientos del recurso hídrico
- Cuantificación de la demanda hídrica
- Determinación índice de escasez.

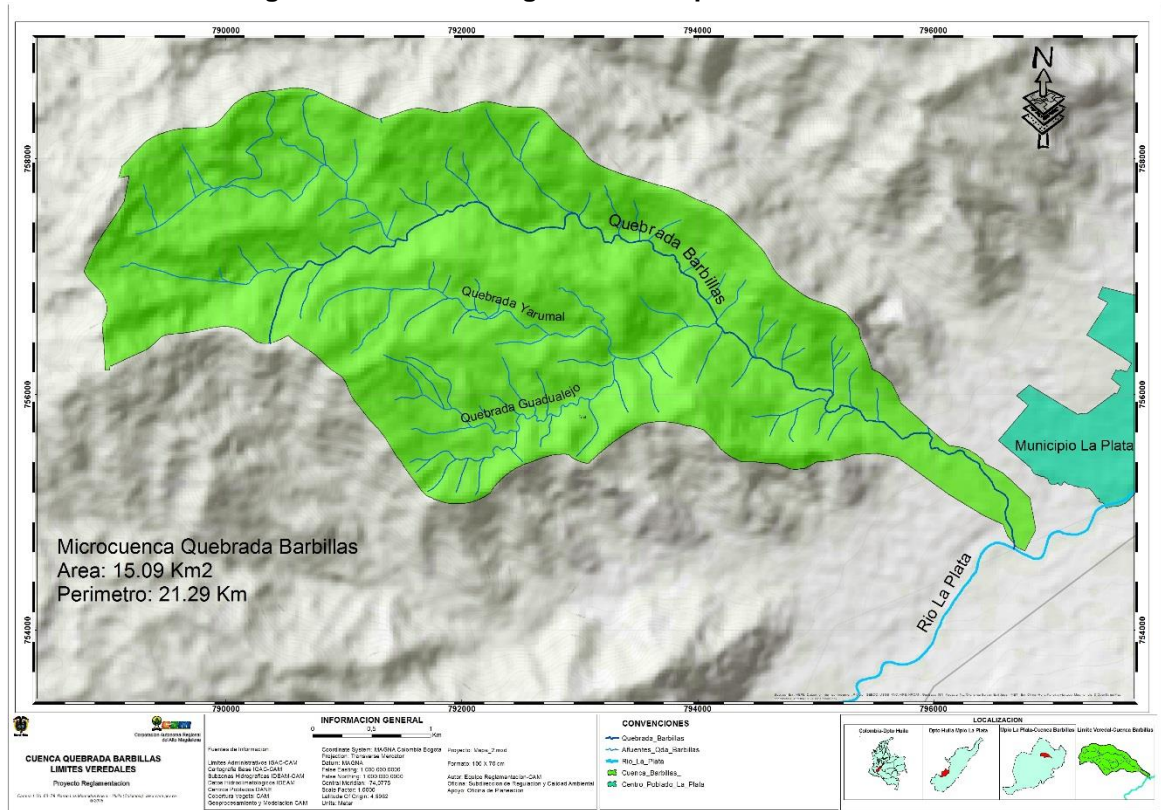
6.3.1. DELIMITACION CUENCA HIDROGRAFICA BARBILLAS

Luego de haber recolectado la información de campo se procedió a procesar y digitalizar la información, inicialmente se delimito el área de estudio. La cuenca hidrográfica en su totalidad (figura 9), Esta se delimita considerando el concepto de divisoria topografía desde nacimiento de la quebrada Barbillas, hasta el sitio de su desembocadura en la margen izquierda aguas abajo del rio la plata.

Tabla 8 Características de lá Cuenca

CUENCA HIDROGRAFICA BARBILLAS	
Área Km2	15.09
Perímetro Km	21.29

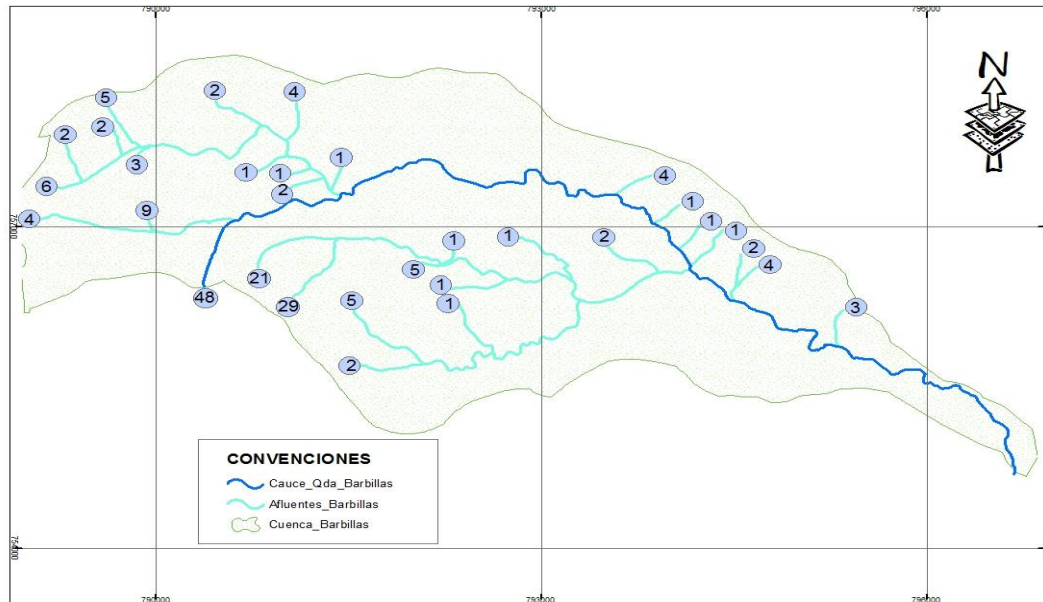
Figura 8 Cuenca hidrográfica de la quebrada Barbillas



6.3.2. DISTRIBUCION DE DENSIDAD DE CAPTACIONES DE USUARIOS

La siguiente figura muestra claramente las zonas dentro de la cuenca donde hay mayor concentración de usuarios. Se puede evidenciar que en la zona alta del área de estudio están establecidas en mayor número los puntos de extracción de agua, esto en época de verano provocará cierta afectación sobre los usuarios de la zona baja debido a la escasez del recurso para esta época del año.

Figura 9. Distribución de Usuarios Cuenca Quebrada Barbillas



6.3.3. Identificación Y Verificación De Los Usos Del Recurso Hídrico

Se identificaron los diferentes usos, a los cuales se destina el recurso hídrico, y se pudo evidenciar que el uso más común entre los usuarios corresponde al consumo humano, seguido del lavado de café, y el uso menos común reportado por los usuarios el abastecimiento hídrico para el cultivos, dicha información se puede ver de forma más resumida y precisa en la Siguiete tabla.

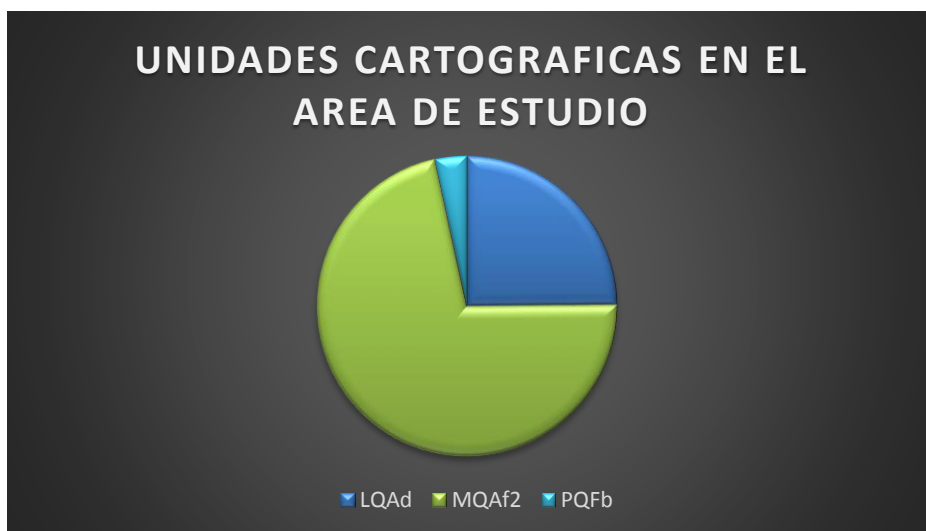
Tabla 9. Distribución de Usos del Recurso Hídrico

USOS	HAS	UNIDAD	# HABITANTES
Lavado de Café	91.45		
Pasto	0.25		
Cacao	0.75		
Maracuyá	6		
Peces	0.0416		
Cerdos		25	
Vacunos		207	
Avícola		1814	
Equinos		43	
Consumo Humano			58085

6.3.4. Identificación De Unidades Cartográficas En El Área De Estudio

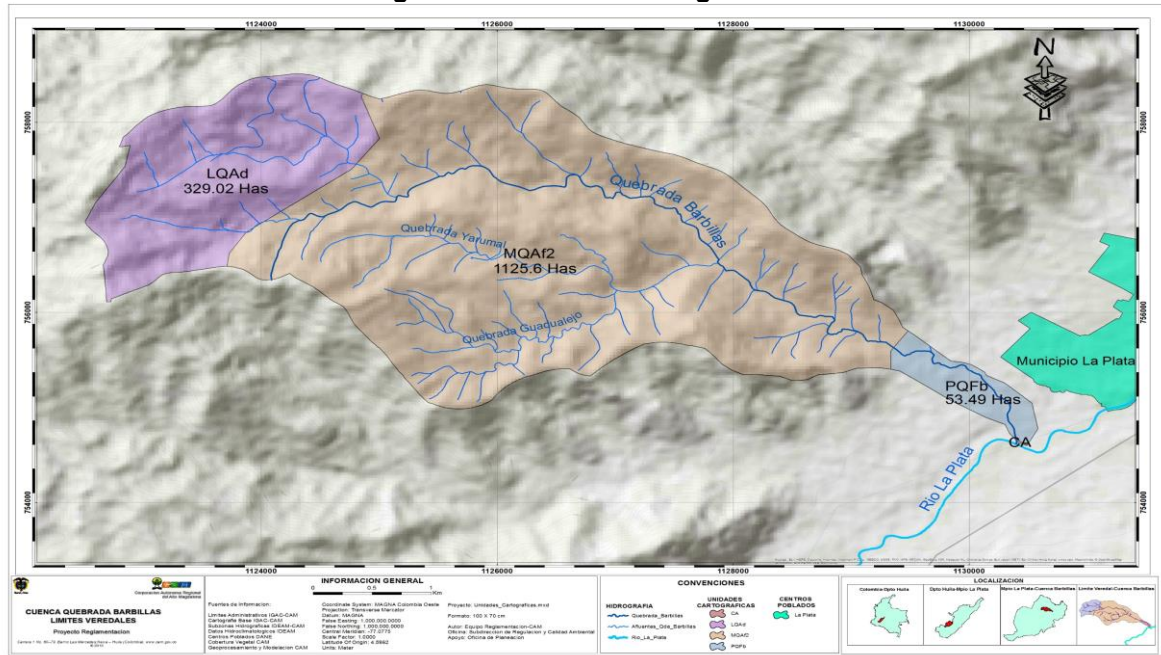
Las series de suelos constituyen la mejor aproximación a una entidad discreta o individuo de suelo a los fines de la caracterización, clasificación y mapeo de unidades de suelos. Dentro del concepto serie de suelo las características morfológicas resultan determinantes para el manejo a nivel parcelario por cuanto en ellas se reúnen aspectos relacionados con la superficie del terreno, presencia de afloramientos rocosos, la textura superficial, los procesos de erosión inducidas por el hombre, la ocurrencia de las sales, saturación con agua, grietas entre otras características de importancia para la agricultura y cualquier forma de ocupación humana (FAO, 2006).

En el área de estudio se encontraron 3 unidades cartográficas LQAd con una extensión de 329.02 has, la MQAf2 con una extensión de 1125.6 has y la PQFb con una extensión de 53.49 has.



Grafica 1. Distribución de Unidades Cartográficas en el Área de Estudio

Figura 10. Unidades cartográficas



6.3.5. Propiedades Físicas Del Suelo y Características de Los Cultivos

Debido a que los usuarios que requieren agua para riego están ubicados dentro de la serie PQFb, la relación entre las propiedades físicas de la unidad cartográfica, y las características de los cultivos a regar, se toman como punto de partida para efectuar los respectivos cálculos que permitan obtener el módulo de riego para los cultivos que están establecidos dentro del área de influencia.

Tabla 10. Propiedades Físicas del Suelo del Área de Estudio

Propiedades Unidad Cartográfica PQFb			
Capacidad de Campo	Punto de Marchitez	Textura	
24.92%	13.44%	1.35 (gr/cm3)	

Tabla 11. Características de los Cultivos

CULTIVO	Kc				Pr (cm)	Per (cm)	UR
	Inicial	Media	Desarrollo	Final			
Pasifloras	0.75	0.75	0.75	0.75		45	40
Pastos de corte	0.50	0.90	0.90	0.85	50	37.5	55
Cacao	1.00	1.05	1.05	1.05	100	75	30

6.3.6 Demandas de agua

En la tabla 12 se pueden observar, cada uno de los modulos calculados, y que permiten definir la demanda total real para la cuenca hidrica de la quebrada Barbillas, y en el anexo B se pueden consultar la memorias de cálculo.

Tabla 12. Modulo Consumo Área de Estudio

Usos	Modulo (Lt /s)
Sector pecuario	
Piscícola	0.000208333
Ganadería	0.000578704
Equinos	0.000462963
Aves	0.000027778
Piscícola (m2)	0.000350000
Sector agrícola	
Maracuyá	0.620000000
Cacao	0.910000000
Pastos	0.770000000
Uso doméstico	
Doméstico (habitante)	0.002395833
Sector industrial	
Lavado Café (kcsp)	0.003488077

En la siguiente tabla se presentan la demanda hídrica total para la cuenca hidrográfica de la quebrada barbillas, obtenida como el producto entre el módulo de consumo y; el área para el sector agrícola, la cantidad de animales y/o espejo de agua para el sector pecuario y número de habitantes para el sector doméstico.

Tabla 13. Demanda Total Real

Usos	Caudal (Lt/s)
Lavado de Café	0.318984652
Pasto	0.1925
Cacao	0.6825
Maracuyá	3.72
Peces	0.1456
Cerdos	0.005208325
Vacunos	0.119791728
Avícola	0.050389292
Equinos	0.019907409
Consumo Humano	139.1632292
Total Caudal	144.42

6.3.7 Oferta Hídrica

Con base en los resultados de la aplicación del modelo agregado de Tanques, se tiene que la oferta hídrica superficial total, caudal ambiental y oferta hídrica disponible son las consignadas en la tabla ##

Tabla 14. Resultado análisis hidrológico

Oferta hídrica superficial total (l/s)	291.00
Caudal Ambiental (l/s)	72.75
Oferta hídrica superficial disponible (l/s)	218.25

6.3.8. Índice del uso de agua

$$IUA = \left(\frac{144.42 \text{ l/s}}{218.25 \text{ l/s}} \right) \times 100$$

$$IUA = 66.17$$

De acuerdo con la categorización del índice del uso del agua, se tiene que para la quebrada Barbillas la presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.

6.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La mayoría de los elementos recopilados, en especial los datos geográficos que caracterizan la cartografía básica, como la del IGAC se encuentran en escala 1:25.000 adecuada para un estudio a nivel regional, la demás información perteneciente a la levantada en campo (Cauce Principal-Principales Afluentes-Captaciones-Tomas Prediales-Conducciones), se encuentra a escala 1:1 lo que facilita a la autoridad ambiental el trabajo de forma significativa a la hora de efectuar monitoreos y seguimientos sobre los cuerpos de agua pertenecientes a la cuenca hidrográfica Barbillas.

Se incorporaron subtipos que permitieran clasificar las captaciones dependiendo del tipo de obra encontrada en campo, de tal manera que se pueda establecer la ubicación geográfica de cada una de las obras hidráulicas, y plantear puntos estratégicos donde posiblemente se puedan llegar a incorporar nuevas obras con la intención de optimizar la utilización del hídrico en la zona.

La importancia de identificar los usuarios que se abastecen hídricamente de un cuerpo de agua, es precisamente conocer las necesidades que los mismos tienen del recurso, y de esta manera poder cuantificar la cantidad total de caudal que se requiere extraer. Sin embargo, con el fin de facilitar la toma de decisiones relacionada con la distribución equitativa y la preservación del recurso hídrico, se requiere almacenar y procesar toda la información en una base de datos espacial.

Al obtener el valor de la demanda Hídrica a través de la identificación de los usos y posterior cálculo de los respectivos módulos de consumo presentes en el área de estudio, se adquiere un indicador que permite establecer fácilmente el agua que se extrae de la quebrada Barbillas para satisfacer las necesidades de la población objeto de estudio.

Al observar la figura 10 donde se muestra la densidad de usuarios dentro de la cuenca hidrográfica objeto de estudio, se puede definir que hay gran cantidad de usuarios concentrados específicamente en la zona alta.

La mayor importancia de implementar métodos de cálculo que permitan la obtención de la demanda y la oferta hídrica disponible presente en la cuenca hidrográfica, es que a partir de esto podemos establecer el valor exacto del índice de escasez, que le permite la corporación tener una alerta temprana sobre la disponibilidad de agua.

7. CONCLUSIONES

- La cuenca de la Quebrada Barbillas tiene una extensión de 15.09 km² con una cota máxima de 2250 msnm. y la longitud del cauce principal y sus principales afluentes es de 29.9 km.
- Se definieron las necesidades hídricas, para los usuarios presentes en la zona objeto de estudio, en donde se obtuvo una demanda total de 144.42 lt/s.
- Se pudo evidenciar, que la mayor cantidad de usuarios está distribuida sobre la zona alta del área de estudio, adicional a esto se puede observar que hay muchos usuarios individuales, que de una u otra forma pueden no estar haciendo un aprovechamiento eficiente del recurso, con la intención de mitigar este fenómeno lo ideal sería agrupar las captaciones, de tal forma que se ubiquen en puntos estratégicos dentro del área de influencia acueductos veredales o sistemas de riego de optimicen la utilización del agua para los usuarios pertenecientes a la cuenca en cuestión.
- La identificación de los usos del recurso hídrico en el área de Influencia, fue un proceso en donde la información fue levantada en campo y posteriormente procesada y almacenada en una base de datos en donde se pudo observar que el uso más común entre los usuarios de la quebrada barbillas, está destinado al Consumo Humano el cual tiene un alcance del 96.4%, seguido del Uso para abastecimiento de las necesidades Hídricas del cultivo de maracuyá el cual refleja un porcentaje de 2.6%. Y por último tenemos los usos pecuarios, lavado de café, y agua para riego del cultivo de cacao que son los que menos demandan agua con un 1.1% de la demanda total.
- La oferta hídrica superficial total de la quebrada Barbillas se estimó igual a 291 l/s, el caudal ambiental como un cuarta parte de esta oferta y la oferta hídrica superficial disponible igual a 144.42 l/s
- Del Índice del uso del agua, se tiene que la presión de la demanda hídrica sobre la oferta es muy alta, dado que aproximadamente un 66% del caudal que discurre por el cauce de la quebrada Barbillas, es derivado de la misma para la ejecución de actividades antrópicas.

8. RECOMENDACIONES

- A nivel institucional es importante centrar toda la información, compilada en la base de datos espacial, a la toma de decisiones que permita establecer estrategias de control de extracción de caudal dentro de la cuenca hidrográfica con la intención de darle siempre prioridad al consumo humano, sobre cualquier otro uso.
- Implementar campañas de capacitación y monitoreo, a los usuarios que se abastecen hídricamente de la quebrada barbillas con la intención de generar una mentalidad de uso eficiente del agua.
- Actualizar la base de datos espacial periódicamente, para determinar el cambio en la presión sobre la oferta hídrica, que se puede llegar a generar con la aparición de nuevos usuarios dentro de la cuenca hidrográfica.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUAS Y AGUAS DE PEREIRA Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2004). *Oferta y demanda hídrica en la subregión N° 1 del departamento de Risaralda con los municipios de Cartago y La Virginia*. Medellín , Colombia .
- Amaya, G., Restrepo, C., Velez, M., Velez, J., & Alvarez, O. (2009). *Modelación del comportamiento hidrológico de tres cuencas en el Urabá Antioqueño - Colombia*. Medellín.
- Arnaud, P., & Lavabre, J. (1996). *Simulation du fonctionnement hydrologique d'une retenue d'eau*. Cemagref.
- Bergström, S. (1995). *The HBV Model*. En: *Computer models of watershed hydrology*. Colorado, USA.: Editado por: V.P.
- Chow, V. t. (1994). *Hidrología aplicada*. Santa fé de Bogotá: MGRW-HILL INTERAMERICANA S.A. .
- FAO. (2002). *Agua y Cultivos* . Roma.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua* . Santa Fé de Bogotá .
- Michel, C. (1989). *Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux*. Cemagref Antony. 530 p. .
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto Número 1076 del 2015*. Santa Fé de Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. TITULO B. Sistema de Acueducto*. Santa fé de bogotá.
- Perrin, C., Michel , C., & Andreassian, V. (2003). *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. *Journal of Hydrology* p 279, 275-289.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo . (2006). *Informe sobre Desarrollo Humano 2006 Mas allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. Barcelona - España: Aedos, s.a. .
- Singh, , V., & Dickinson, W. (1975). *An analytical method to determine daily soil moisture*. *Proceedings of the Second World Congress on Water Resources, Delhi*. India.
- Vélez, J. (2001). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ingeniería. Valencia, España.

ANEXO A. BASE DE DATOS ESPACIAL

Se adjunta archivo en formato GDB.

ANEXO B. BALANCES HÍDRICOS

Cultivo		Pasifloras																	
Área		1																	
Método de Riego		Superficie																	
Parámetros	Unidad	Valor decadal (36 decadas)																	
		ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Precipitación	(mm)	54.40	36.96	44.62	46.18	57.32	48.49	61.51	57.51	62.06	56.09	50.85	59.52	46.85	41.47	50.43	31.80	27.58	26.10
Precipitación (%probabilidad de excedencia)	(mm)	11.85	9.20	15.75	19.05	17.10	12.03	21.98	23.55	27.10	27.03	23.40	26.08	25.28	16.30	27.78	16.88	13.05	12.15
Precipitación Efectiva	(mm)	6.85	4.99	9.52	11.62	10.40	6.93	13.43	14.37	16.59	16.47	14.30	15.90	15.41	9.81	16.96	10.18	7.66	7.04
ETP	(mm)	27.85	28.06	32.36	30.78	32.15	24.80	29.85	28.71	31.81	29.12	29.33	28.80	28.27	27.74	30.49	27.70	27.68	27.18
Kc(Coeficiente de Cultivo)	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Uc (Uso Consuntivo)	(mm)	20.88	21.04	24.27	23.09	24.11	18.60	22.39	21.53	23.85	21.84	22.00	21.60	21.20	20.80	22.87	20.77	20.76	20.38
Uc (Uso Consuntivo)	(mm/día)	2.09	2.10	2.21	2.31	2.41	2.33	2.24	2.15	2.17	2.18	2.20	2.16	2.12	2.08	2.08	2.08	2.08	2.04
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm)	-	-	-	-	-	-	-8.96	-7.16	-7.26	-5.37	-7.70	-5.70	-5.80	-	-5.91	-	-	-
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm/día)	14.04	16.05	14.75	11.46	13.71	11.67	-0.90	-0.72	-0.66	-0.54	-0.77	-0.57	-0.58	10.99	-0.54	-1.06	-1.31	-1.33
Eficiencia	Conducción	%																	
	Distribución	%																	
	Aplicación	%																	
Demanda Bruta	(mm)	28.07	32.10	29.50	22.90	27.40	23.30	17.90	14.30	14.50	10.70	15.40	11.40	11.60	22.00	11.80	21.20	26.20	26.70
Frecuencia de riego	días	19.87	17.38	20.80	24.33	20.35	19.12	31.14	38.97	42.24	51.96	36.23	48.93	48.13	25.37	51.91	26.33	21.29	20.92
Módulo de Riego (Jr 12 horas)	(lps/ha)	0.54	0.62	0.52	0.44	0.53	0.56	0.35	0.28	0.25	0.21	0.30	0.22	0.22	0.42	0.21	0.41	0.51	0.51
Módulo de Riego (Jr 15 horas)	(lps/ha)	0.43	0.50	0.41	0.35	0.42	0.45	0.28	0.22	0.20	0.17	0.24	0.18	0.18	0.34	0.17	0.33	0.40	0.41
Módulo de Riego (Jr 20 horas)	(lps/ha)	0.32	0.37	0.31	0.27	0.32	0.34	0.21	0.17	0.15	0.12	0.18	0.13	0.13	0.25	0.12	0.25	0.30	0.31

Cultivo		Pasifloras																	
Área		1																	
Método de Riego		Superficie																	
Parámetros	Unidad	Valor decadal (36 decadas)																	
		JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Precipitación	(mm)	28.17	20.26	20.81	15.38	15.97	19.89	18.22	23.12	33.19	41.12	50.45	55.96	50.42	56.53	52.95	57.84	44.48	47.26
Precipitación (%probabilidad de excedencia)	(mm)	11.50	7.15	7.68	6.03	5.38	7.18	6.45	5.88	12.70	9.60	19.40	33.45	25.78	30.90	26.30	21.13	19.33	18.30
Precipitación Efectiva	(mm)	6.59	3.48	3.89	2.63	2.12	3.53	2.97	2.53	7.45	5.29	11.81	20.30	15.72	18.73	16.02	12.86	11.73	11.14
ETP	(mm)	26.67	26.17	29.24	27.00	27.42	31.23	29.37	30.35	29.80	29.25	28.71	31.56	28.68	28.66	28.25	27.83	27.42	30.40
Kc(Coeficiente de Cultivo)	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Uc (Uso Consuntivo)	(mm)	20.00	19.62	21.93	20.25	20.56	23.43	22.03	22.76	22.35	21.94	21.53	23.67	21.51	21.50	21.19	20.87	20.56	22.80
Uc (Uso Consuntivo)	(mm/día)	2.00	1.96	1.99	2.03	2.06	2.13	2.20	2.28	2.23	2.19	2.15	2.15	2.15	2.15	2.12	2.09	2.06	2.07
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm)	-13.41	-16.14	-18.04	-17.62	-18.44	-19.90	-19.06	-20.23	-14.90	-16.65	-9.73	-3.37	-5.79	-2.76	-5.17	-8.01	-8.83	-11.66
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm/día)	-1.34	-1.61	-1.64	-1.76	-1.84	-1.81	-1.91	-2.02	-1.49	-1.67	-0.97	-0.31	-0.58	-0.28	-0.52	-0.80	-0.88	-1.06
Eficiencia	Conducción	%																	
	Distribución	%																	
	Aplicación	%																	
Demanda Bruta	(mm)	-26.80	-32.30	-36.10	-35.20	-36.90	-39.80	-38.10	-40.50	-29.80	-33.30	-19.50	-6.70	-11.60	-5.50	-10.30	-16.00	-17.70	-23.30
Frecuencia de riego	días	20.80	17.28	17.01	15.83	15.13	15.42	14.63	13.79	18.72	16.75	28.68	91.03	48.16	101.01	53.98	34.82	31.59	26.32
Módulo de Riego (Jr 12 horas)	(lps/ha)	0.52	0.62	0.63	0.68	0.71	0.70	0.74	0.78	0.57	0.64	0.38	0.12	0.22	0.11	0.20	0.31	0.34	0.41
Módulo de Riego (Jr 18 horas)	(lps/ha)	0.41	0.50	0.51	0.54	0.57	0.56	0.59	0.62	0.46	0.51	0.30	0.09	0.18	0.09	0.16	0.25	0.27	0.33
Módulo de Riego (Jr 20 horas)	(lps/ha)	0.31	0.37	0.38	0.41	0.43	0.42	0.44	0.47	0.34	0.39	0.23	0.07	0.13	0.06	0.12	0.19	0.20	0.25

Cultivo		Pasto																	
Área		1																	
Método de Riego		Superficie																	
Parámetros	Unidad	Valor decadal (36 decadas)																	
		ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Precipitación	(mm)	54.40	36.96	44.62	46.18	57.32	48.49	61.51	57.51	62.06	56.09	50.85	59.52	46.85	41.47	50.43	31.80	27.58	26.10
Precipitación (%probabilidad de excedencia)	(mm)	11.85	9.20	15.75	19.05	17.10	12.03	21.98	23.55	27.10	27.03	23.40	26.08	25.28	16.30	27.78	16.88	13.05	12.15
Precipitación Efectiva	(mm)	6.74	4.92	9.39	11.46	10.25	6.82	13.23	14.15	16.36	16.22	14.08	15.66	15.17	9.66	16.71	10.02	7.54	6.93
ETP	(mm)	27.85	28.06	32.36	30.78	32.15	24.80	29.85	28.71	31.81	29.12	29.33	28.80	28.27	27.74	30.49	27.70	27.68	27.18
Kc(Coeficiente de Cultivo)	-	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Uc (Uso Consuntivo)	(mm)	25.06	25.25	29.13	27.71	28.93	22.32	26.87	25.84	28.63	26.21	26.40	25.92	25.44	24.96	27.44	24.93	24.91	24.46
Uc (Uso Consuntivo)	(mm/día)	2.51	2.53	2.65	2.77	2.89	2.79	2.69	2.58	2.60	2.62	2.64	2.59	2.54	2.50	2.49	2.49	2.49	2.45
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm)	-18.32	-20.34	-19.74	-16.25	-18.68	-15.50	-13.63	-11.68	-12.27	-9.98	-12.31	-10.26	-10.27	-15.31	-10.73	-14.91	-17.37	-17.52
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm/día)	-1.83	-2.03	-1.79	-1.63	-1.87	-1.94	-1.36	-1.17	-1.12	-1.00	-1.23	-1.03	-1.03	-1.53	-0.98	-1.49	-1.74	-1.75
Eficiencia	Conducción	%																	
	Distribución	%																	
	Aplicación	%																	
Demanda Bruta	(mm)	-36.64	-40.70	-39.50	-32.50	-37.40	-31.00	-27.30	-23.40	-24.50	-20.00	-24.60	-20.50	-20.50	-30.60	-21.50	-29.80	-34.70	-35.00
Frecuencia de riego	días	17.45	15.72	17.81	19.67	17.11	16.49	23.44	27.36	28.65	32.01	25.96	31.15	31.11	20.88	32.76	21.44	18.40	18.24
Módulo de Riego (Jr 12 horas)	(lps/ha)	0.71	0.78	0.69	0.63	0.72	0.75	0.53	0.45	0.43	0.39	0.48	0.40	0.40	0.59	0.38	0.58	0.67	0.68
Módulo de Riego (Jr 15 horas)	(lps/ha)	0.57	0.63	0.55	0.50	0.58	0.60	0.42	0.36	0.34	0.31	0.38	0.32	0.32	0.47	0.30	0.46	0.54	0.54
Módulo de Riego (Jr 20 horas)	(lps/ha)	0.42	0.47	0.42	0.38	0.43	0.45	0.32	0.27	0.26	0.23	0.29	0.24	0.24	0.35	0.23	0.35	0.40	0.41
Cultivo	CACAO																		

Área		1																	
Método de Riego		Superficie																	
Parámetros	Unidad	Valor decadal (36 decadas)																	
		ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Precipitación	(mm)	54.40	36.96	44.62	46.18	57.32	48.49	61.51	57.51	62.06	56.09	50.85	59.52	46.85	41.47	50.43	31.80	27.58	26.10
Precipitación (%probabilidad de excedencia)	(mm)	11.85	9.20	15.75	19.05	17.10	12.03	21.98	23.55	27.10	27.03	23.40	26.08	25.28	16.30	27.78	16.88	13.05	12.15
Precipitación Efectiva	(mm)	6.80	4.96	9.49	11.57	10.36	6.87	13.37	14.29	16.53	16.38	14.22	15.81	15.31	9.74	16.88	10.11	7.61	7.00
ETP	(mm)	27.85	28.06	32.36	30.78	32.15	24.80	29.85	28.71	31.81	29.12	29.33	28.80	28.27	27.74	30.49	27.70	27.68	27.18
Kc(Coeficiente de Cultivo)	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Uc (Uso Consuntivo)	(mm)	29.24	29.46	33.98	32.32	33.75	26.04	31.35	30.14	33.40	30.58	30.79	30.24	29.68	29.12	32.01	29.08	29.06	28.53
Uc (Uso Consuntivo)	(mm/dia)	2.92	2.95	3.09	3.23	3.38	3.26	3.13	3.01	3.04	3.06	3.08	3.02	2.97	2.91	2.91	2.91	2.91	2.85
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm)	-22.43	-24.50	-24.49	-20.75	-23.39	-19.17	-17.98	-15.85	-16.87	-14.20	-16.58	-14.43	-14.37	-19.38	-15.14	-18.97	-21.45	-21.54
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm/dia)	-2.24	-2.45	-2.23	-2.08	-2.34	-2.40	-1.80	-1.59	-1.53	-1.42	-1.66	-1.44	-1.44	-1.94	-1.38	-1.90	-2.15	-2.15
Eficiencia	Conducción	%																	
	Distribución	%																	
	Aplicación	%																	
Demanda Bruta	(mm)	-44.87	-49.00	-49.00	-41.50	-46.80	-38.30	-36.00	-31.70	-33.70	-28.40	-33.20	-28.90	-28.70	-38.80	-30.30	-37.90	-42.90	-43.10
Frecuencia de riego	dias	14.25	13.05	14.36	15.40	13.66	13.34	17.78	20.16	20.84	22.51	19.28	22.15	22.24	16.49	23.23	16.85	14.90	14.84
Módulo de Riego (Jr 12 horas)	(lps/ha)	0.87	0.95	0.86	0.80	0.90	0.92	0.69	0.61	0.59	0.55	0.64	0.56	0.55	0.75	0.53	0.73	0.83	0.83
Módulo de Riego (Jr 15 horas)	(lps/ha)	0.69	0.76	0.69	0.64	0.72	0.74	0.56	0.49	0.47	0.44	0.51	0.45	0.44	0.60	0.42	0.59	0.66	0.66
Módulo de Riego (Jr 20 horas)	(lps/ha)	0.52	0.57	0.52	0.48	0.54	0.55	0.42	0.37	0.36	0.33	0.38	0.33	0.33	0.45	0.32	0.44	0.50	0.50

Cultivo		CACAO																	
Área		1																	
Método de Riego		Superficie																	
Parámetros	Unidad	Valor decadal (36 decadas)																	
		JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Precipitación	(mm)	28.17	20.26	20.81	15.38	15.97	19.89	18.22	23.12	23.19	41.12	50.45	55.96	50.42	56.53	52.95	57.84	44.48	47.26
Precipitación (%probabilidad de excedencia)	(mm)	11.50	7.15	7.68	6.03	5.38	7.18	6.45	5.88	12.70	9.60	19.40	33.45	25.78	30.90	26.30	21.13	19.33	18.30
Precipitación Efectiva	(mm)	6.55	3.45	3.87	2.61	2.11	3.51	2.95	2.52	7.41	5.26	11.74	20.22	15.62	18.63	15.92	12.78	11.65	11.09
ETP	(mm)	26.67	26.17	29.24	27.00	27.42	31.23	29.37	30.35	29.80	29.25	28.71	31.56	28.68	28.66	28.25	27.83	27.42	30.40
Kc(Coeficiente de Cultivo)	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Uc (Uso Consuntivo)	(mm)	28.00	27.47	30.70	28.35	28.79	32.80	30.84	31.86	31.29	30.72	30.14	33.14	30.11	30.10	29.66	29.22	28.79	31.91
Uc (Uso Consuntivo)	(mm/dia)	2.80	2.75	2.79	2.84	2.88	2.98	3.08	3.19	3.13	3.07	3.01	3.01	3.01	3.01	2.97	2.92	2.88	2.90
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Demanda Neta (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)	(mm/dia)	-2.15	-2.40	-2.44	-2.57	-2.67	-2.66	-2.79	-2.93	-2.39	-2.55	-1.84	-1.17	-1.45	-1.15	-1.37	-1.64	-1.71	-1.89
Eficiencia	Conducción	%																	
	Distribución	%																	
	Aplicación	%																	
Demanda Bruta	(mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Demanda Bruta	(mm)	42.90	48.00	53.70	51.50	53.40	58.60	55.80	58.70	47.80	50.90	36.80	25.80	29.00	22.90	27.50	32.90	34.30	41.70
Frecuencia de riego	dias	14.90	13.31	13.10	12.42	11.98	12.01	11.46	10.89	13.39	12.56	17.36	27.21	22.06	27.87	23.26	19.44	18.65	16.88
Módulo de Riego (Jr 12 horas)	(lps/ha)	0.83	0.93	0.94	0.99	1.03	1.03	1.08	1.13	0.92	0.98	0.71	0.45	0.56	0.44	0.53	0.63	0.66	0.73
Módulo de Riego (Jr 18 horas)	(lps/ha)	0.66	0.74	0.75	0.79	0.82	0.82	0.86	0.91	0.74	0.79	0.57	0.36	0.45	0.35	0.42	0.51	0.53	0.58
Módulo de Riego (Jr 20 horas)	(lps/ha)	0.50	0.56	0.56	0.60	0.62	0.62	0.65	0.68	0.55	0.59	0.43	0.27	0.34	0.27	0.32	0.38	0.40	0.44

