FORMULACIÓN DE ADAPTACIONES METODOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA QUEBRADA-NEGRA, VEREDA PILUMA, MUNICIPIO DE SASAIMA CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO: MODALIDAD INVESTIGACIÓN

PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERAS AMBIENTALES

AUTORES

YEHZAIDA YINETH CÓRDOBA CARABALI
YULY VIVIANA MELO MORA

DIRECTOR

HELMUT ESPINOSA GARCÍA
M. Sc Desarrollo Rural
Esp. Planificación del Desarrollo

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ AGOSTO 16 DE 2016

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 9
ABSTRACT 10
INTRODUCCIÓN 11
1. OBJETIVOS 13
1.1 Objetivo General 13
1.2 Objetivos Específicos 13
2. MARCO REFERENCIAL 14
2.1 ESTADO DEL ARTE 14
2.2 MARCO CONCEPTUAL 15
2.2.1 Transición urbano –rural 15
2.2.2 Desarrollo Sostenible Micro-Regional (DSM) 16
2.2.3 Microcuenca 16
2.2.4 Gestión integral recurso hídrico (GIRH) 17
2.2.5 Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua 17
2.3 MARCO LEGAL 18
2.4 MARCO GEOGRÁFICO 19
2.4.1 Localización 19
3. METODOLOGIA 21
3.1 FASE 1: EVALUACIÓN 21
3.1.1 Elementos metodológicos del objetivo 1 21
3.1.2 Instrumentos metodológicos 21
3.1.3 Tratamiento de la información 21
3.2 FASE 2: FORMULACIÓN METODOLÓGICA 21
3.2.1 Elementos metodológicos del objetivo 2 21
3.2.2 Instrumentos metodológicos 22
3.2.3 Tratamiento de la información 22
3.3 FASE 3: VALIDACIÓN 22
3.3.1 Elementos metodológicos del objetivo 3 22

3.3.2 Instrumentos metodológicos 22
3.3.3 Tratamiento de la información 22
4. RESULTADOS 24
4.1. EVALUACIÓN Y REVISIÓN DOCUMENTAL DE METODOLOGÍAS DE VULNERABILIDAD HÍDRICA 24
4.1.2 Estudio de caso Colombia 24
4.1.3 Estudio de caso Nicaragua 25
4.1.4 Estudio de caso México 25
4.1.5 Estudio de caso Chile 27
4.2. FORMULACIÓN DE ADAPTACIONES AL MÉTODO DE CÁLCULO 44
4.2.1 Aproximación metodológica para la estimación del índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua a partir del enfoque micro regional en una microcuenca 46
4.2.2 Resumen del método de calculo 56
4.3 VALIDACIÓN DE ADAPTACIONES METODOLÓGICAS 59
4.3.1 Caracterización territorial 59
4.3.1.2 Caracterización del medio biótico 69
4.3.1.3 Caracterización medio socioeconómico 70
4.3.2 Índice de Uso de Agua (IUA) 73
4.3.3 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) 89
4.3.4 Índice de Vulnerabilidad por Disponibilidad de agua (IVDA) 93
5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 95
CONCLUSIONES 103
RECOMENDADCIONES 105
BIBLIOGRAFIA 106
ANEXOS 112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Legislación ambiental aplicable al manejo del agua 18

Tabla 2:Indicadores de vulnerabilidad por componente 28

Tabla 3:Relación capacidad de uso y humedad aprovechable 29

Tabla 4:Matriz de relación para el cálculo de vulnerabilidad 29

Tabla 5:Matriz resumen de metodologías de cálculo de la vulnerabilidad hídrica 30

Tabla 6: Categorías de vulnerabilidad estudio de caso Chile 36

Tabla 7:Matriz comparativa 37

Tabla 8: Matriz de adaptaciones 45

Tabla 9: Mediación de caudales en la microcuenca Quebrada Negra 52

Tabla 10:Relación regulación hídrica - caudal ambiental 52

Tabla 11: Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH) 53

Tabla 12:Matriz de decisión para la regulación hídrica 54

Tabla 13:Evaluación cualitativa de asociaciones de suelos 55

Tabla 14:Categorías para la capacidad de retención y regulación hídrica del suelo 55

Tabla 15: Matriz de relación Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua 56

Tabla 16:Promedio multianual estación de referencia 60

Tabla 17:Generalidades de la microcuenca Quebrada-negra 61

Tabla 18:Factores de área de la microcuenca Quebrada negra 62

Tabla 19: Factores de forma de la microcuenca Quebrada negra 63

Tabla 20:Factor de elevación microcuenca Quebrada-negra 64

Tabla 21: Factores de pendiente 65

Tabla 22: Orden de la red hídrica 65

Tabla 23:Categorización de unidades hidrogeológica presentes en área de estudio 66

Tabla 24: Clasificación de áreas de especial importancia ecosistémica 72
Tabla 25:Demanda uso de agua sector doméstico – Acueducto Acualimonal 74
Tabla 26:Demanda uso de agua sector doméstico – Acueducto Guane Sta. Teresa 75
Tabla 27:Demanda uso de agua sector doméstico – Acueducto Manantial 76
Tabla 28:Demanda total de uso de agua domestico 77
Tabla 29: Demanda uso de agua sector Industrial - Trapiches 77
Tabla 30:Evapotranspiración Real ETP, Método Thornthwaite y Wilm 78
Tabla 31:Evapotranspiración Potencial ETP, Método Blaney y Criddle 78
Tabla 32:Factor de corrección por coberturas naturales 79
Tabla 33:Factor de corrección por cultivo 79
Tabla 34**:**Demanda de agua para usos consultivos 79
Tabla 35:Demanda de agua para cobertura natural – área 79
Tabla 36:Demanda por cobertura vivienda ocasional – área 80
Tabla 37:Demanda de agua por usos consultivos – área 81
Tabla 38:Demanda de agua para cobertura natural – área 82
Tabla 39: Demanda por cobertura vivienda ocasional – área 83
Tabla 40:Demanda Total de agua 83
Tabla 41:Módulos de consumo para la actividad pecuaria 83
Tabla 42: Módulos de consumo para la actividad piscícola 85
Tabla 43:Demanda total uso de agua para el sector pecuario 86
Tabla 44: Demanda hídrica total 86
Tabla 45: Caudal promedio del cauce calculado 87
Tabla 46: Oferta hídrica neta para condiciones hidrológica secas 87
Tabla 47:Matriz de valoración para la regulación hídrica de los suelos de la asociación garbanzabal. 89
Tabla 48:Matriz de valoración para la regulación hídrica de los suelos de la asociación garbanzal. 90

Tabla 49:Categorías para la capacidad de retención y regulación hídrica del suelo 91

Tabla 50:Matriz de decisión para la regulación hídrica 92

Tabla 51:Matriz de relación Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua 93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio: Localización del municipio en el Departamento de Cundinamarca, Vereda Piluma, Microcuenca Quebrada Negra 20

Figura 2: Perfil longitudinal del cauce principal 63

Figura 3: Perfil de elevación del cauce de la Quebrada negra 64

Figura 4:Sistema de acueducto o captación de aguas para usos doméstico en la microcuenca 70

Figura 5:Uso actual del suelo 71

Figura 6:Consumo de agua mensual acueducto Acualimonal 74

Figura 7:Consumo de agua mensual acueducto Guane - Santa Teresa 75

Figura 8:Consumo de agua mensual acueducto Manantiales 76

Figura 9:Demanda de agua por cobertura natural 80

Figura 10:Demanda de agua por usos consultivos 81

Figura 11: Demanda de agua por cobertura natural 82

Figura 12: Demanda de agua por actividad pecuaria 84

Figura 13: Demanda de agua actividad piscícola 85

Figura 14: Caudales promedios, máximos y mínimos, estación Villeta 87

Figura 15:Capacidad de retención y regulación hídrica del suelo en la microcuenca. 91

Figura 16:Capacidad de retención y regulación hídrica de las coberturas vegetales en la microcuenca 92

Figura 17: Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua 93

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1: Cuenca media del Río Gualivá 61

Imagen 2:Paisaje de montaña 67

Imagen 3:Flora característica de la microcuenca 69

Imagen 4:Fauna característica de la microcuenca 69

Imagen 5:Trapiche de caña panelera 73

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS A
AFORO

Tabla A.1: Aforo Método de flotadores febrero de 2015, condiciones hidrológicas secas

Tabla A.2: Aforo Método de flotadores abril de 2015, condiciones hidrológicas húmeda

Tabla A.3: Aforo Método de flotadores julio de 2015, condiciones hidrológicas secas

Tabla A.4: Aforo Método de flotadores octubre de 2015, condiciones hidrológicas húmedas

Tabla A.5: Aforo Método de flotadores diciembre de 2015, condiciones hidrológicas secas

ANEXOS B
CONSUMOS

Tabla B.1: Consumos mensuales y consumo promedio año 2015, Fuente Acueducto Acualimonal Sasaima Cundinamarca

Tabla B.1: Consumos mensuales y consumo promedio año 2015, Acueducto Guane Santa Teresa Sasaima Cundinamarca

Tabla B.1: Consumos mensuales y consumo promedio año 2015, Manantial

ANEXOS C
MAPAS

Mapa 1: Base

Mapa 2: Climatológico

Mapa 3: Hídrico

Mapa 4: Geológico

Mapa 5: Geomorfológico

Mapa 6: Asociaciones de suelos

Mapa 7: Redes e infraestructura

Mapa 8: Recursos naturales y uso del suelo

Mapa 9: Capacidad de retención y regulación del suelo

Mapa 10: Capacidad de retención y regulación hídrica de las coberturas vegetales

Mapa 11: Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua

RESUMEN

El presente trabajo es una investigación de tipo evaluativo propositivo que tiene como objeto proponer una aproximación metodológica al método de cálculo de los parámetros que determinan el índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua, se realiza bajo el enfoque de estudio de caso con una unidad de observación definida como la microcuenca de la Quebrada Negra con un área aproximada de 71, 7 hectáreas y un cauce principal con una longitud de 1,5 kilómetro, el área de estudio se encuentra ubicada en la vereda Piluma, municipio de Sasaima Cundinamarca.

Ante los cambios en las dinámicas socioeconómicas que se presentan en el territorio se evidencian una serie de problemáticas concretas como el proceso de parcelamiento acelerado como consecuencia de la transición urbano rural lo que incrementa la demanda y presión de los recursos que brinda el espacio rural principalmente suelo, agua y biodiversidad; a esto se le suman factores de tipo físicogeograficos y sociales comunes en el entorno regional. Por lo anterior se planteó el siguiente objetivo "Formular una aproximación metodológica para la estimación del índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua a partir del enfoque micro regional en la microcuenca Quebrada-Negra de la Vereda Piluma municipio de Sasaima, Cundinamarca"; para dar cumplimiento a este objeto se propuso el desarrollo en tres fases que corresponden a revisión documental, adaptaciones al método de cálculo y por último la validación del método con el estudio de caso. La información recolectada se procesó mediante paquetes estadísticos de Microsoft Excel, programas de análisis espacial como ArcGis 10.2, Autocad y Google Earth. Como resultado se obtuvo un análisis de metodologías utilizadas a nivel Latinoamérica, la definición de un método de cálculo con sus respectivos rangos de valoración y la formulación de una ecuación general, por último la validación del método elaborado para realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento en la microcuenca.

Palabras Clave: *Microcuenca, Vulnerabilidad hídrica, Disponibilidad de agua, Adaptación metodológica, estudio de caso.*

ABSTRACT

This work is an investigation of purposive evaluation scheme that aims to propose a methodological approach to the method of calculating the parameters that determine the vulnerability index by water availability, it is under the approach of case study with an observation unit defined as the watershed of the Quebrada Negra with an approximate area of 71, 7 hectares and a main runway with a length of 1.5 km, the study area is located in the Piluma, municipality of Cundinamarca Sasaima sidewalk.

Given the changes in the socioeconomic dynamics that occur in the territory a number of specific issues such as the process of parceling accelerated as a result of rural urban transition which increases demand and pressure of the resources provided are evident rural areas mainly soil , water and biodiversity; to this are added factors common fisicogeograficos and social kind in the regional environment. Therefore the next target was raised "Ask a methodological approach for estimating the vulnerability index by water availability from micro regional approach in the Quebrada Negra micro-Piluma the municipality of Vereda Sasaima, Cundinamarca"; to comply with this object the development was proposed in three phases corresponding to document review, adjustments to the calculation method and finally validation of the method with case study. The information collected was processed using statistical packages Microsoft Excel, spatial analysis programs as ArcGis 10.2, AutoCAD and Google Earth. As a result analysis methodologies used to level Latin America, the definition of a calculation method with their valuation ranges and the formulation of a general equation, finally validation of the method developed for diagnosis of water vulnerability was obtained by shortages in the watershed.

Keywords: *Micro Watershed Vulnerability water, Water availability, methodological adaptation, case study.*

INTRODUCCIÓN

Desde los enfoques del desarrollo sostenible micro-regional y la Gestión Integral de Recurso Hídrico se identificó un área de investigación o unidad de análisis definida como micro-cuenca Quebrada-Negra en la Vereda Piluma, municipio de Sasaima-Cundinamarca, en la cual se evidencia una serie de procesos que desencadenan problemáticas concretas con características comunes en el entorno regional (Sepúlveda 2008). El proceso de mayor incidencia es el de parcelamiento como consecuencia de la transición urbano-rural, es decir la presencia de actores exógenos que incrementan la demanda de los servicios que brinda el espacio rural principalmente suelo, agua y biodiversidad (Sepulveda, 2008), generando una tendencia al cambio de actividades y una transformación en el estilo de vida y en los valores comúnmente asociados a lo rural.

El abastecimiento de agua se establece como uno de los principales retos en la gestión del recurso hídrico en el mundo ya que esta representa una necesidad tangible para todos, por ello es de suma importancia la realización de estudios que ayuden a la detección y cuantificación de la disponibilidad del agua partiendo de dimensiones ambientales de contexto geográfico, económico, ambiental , social y ecológico para estructurar indicadores que evalúan el avance o retroceso hacia la sostenibilidad del agua (Villacis, 2005). A nivel nacional se aborda este tema desde la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico que establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégicas para el manejo del recurso hídrico en el país (MAVDT, 2010).

Por su parte, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia mediante el Estudio Nacional del Agua en el 2010 adelanto una evaluación del estado actual de las condiciones de fragilidad del sistema hídrico en términos de vulnerabilidad por disponibilidad de agua para los municipios del país, llegando a la conclusión de que muchos de los sistemas hídricos que actualmente abastecen a la población colombiana evidencian una alta vulnerabilidad. Asimismo, para el municipio de Sasaima en condiciones hidrológicas medias[1] se determinó un índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua alto, lo que representa un riesgo significativo para la población local de sufrir problemas de abastecimiento de agua a causa de las condiciones de regulación y presión que existe sobre los sistemas hídricos de los que se abastece. Ante la ausencia de información y con el propósito de dar respuesta a una necesidad imperante que mejore las condiciones de manejo del recurso hídrico y generé información a una escala local o micro-regional, abordando uno de los grandes vacíos que presenta la planeación y gestión del agua en el país, surgen los interrogante. *¿Cuáles son los criterios fisicogeograficos y socioeconómicos considerados como relevantes en el contexto teórico de estudio, que responden a la necesidad de un análisis integrado de las condiciones de vulnerabilidad por disponibilidad de agua* en la microcuenca Quebrada-Negra*?, ¿A partir de un diagnostico metodológico de cuatro países de Latinoamerica definir cuáles son los parámetros fisicogeograficos y socioeconómicos aplicables para medir la vulnerabilidad por disponibilidad de agua en la microcuenca Quebrada-Negra?*

Para lo anterior, se requiere la adaptación metodológica de los criterios de cálculo del índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua que deberá valorar información multidimensional proporcionando elementos cualitativos y cuantitativos del grado de fragilidad del sistema hídrico en las diferentes fuentes de abastecimiento; considerando la

[1] Según los estimativos generales. IDEAM Estudio Nacional del Agua 2010

oferta neta, los usos consuntivos, la capacidad de regulación hídrica y el sistema de abastecimiento externo, reconociendo los discernimientos de actores territoriales que desde diferentes percepciones contribuyan a la evaluación de la disponibilidad del recurso para el estudio de la microcuenca.

Finalmente, de acuerdo con la naturaleza y el objetivo planteado para el desarrollo de esta investigación el tema objeto estudio se fundamenta bajo el enfoque teórico de la Gestión Integral del Recurso Hídrico, considerando los siguientes aspectos metodológicos de la investigación: estudio de caso de tipo exploratorio, descriptivo y correlacional con una sola unidad de análisis; método deductivo que parte del concepto teórico general del índice para una adaptación del método de cálculo considerando las particularidades del área de estudio, actores territoriales que aporten parámetros relevantes, identificando parámetros fundamentales y el equipo investigador que definirá los parámetros factibles para el cálculo. El proceso metodológico se estructura en tres (3) fases (evaluación, formulación metodológica y validación) con las técnicas de recolección de información y sus respectivos instrumentos para el tratamiento de la misma, utilizando en el proceso de análisis y formulación la herramienta de modelación simples SIG que permitirá conjugar las particularidades de los conceptos teóricos, tales como dimensiones del desarrollo, parámetros de medida del índice, dinámicas territoriales, entre otros.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Formular una aproximación metodológica para la estimación del índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua a partir del enfoque micro regional en la microcuenca Quebrada-Negra de la Vereda Piluma municipio de Sasaima, Cundinamarca.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión documental comparativa de las metodologías propuestas en Latinoamérica para determinar el índice de vulnerabilidad hídrica, evaluando sus criterios de cálculo y la definición de las condiciones de adaptabilidad de la metodología seleccionada.

- Proponer adaptaciones a los métodos de cálculo de cada parámetro que determinan el índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua aplicables a las características locales.

- Validar las adaptaciones formuladas mediante su aplicación en el estudio de caso para la microcuenca Quebrada-negra de la vereda Piluma en el municipio de Sasaima Cundinamarca.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 ESTADO DEL ARTE

El IDEAM mediante el Estudio nacional del agua en el 2010 adelanto una evaluación del estado actual de las condiciones de fragilidad del sistema hídrico en términos de vulnerabilidad por disponibilidad de agua para municipios del país, llegando al a conclusión de que muchos de los sistemas hídricos que actualmente abastecen a la población colombiana evidencian una vulnerabilidad alta para mantener su disponibilidad de agua. Según las condiciones generales para condiciones hidrológicas medias (IDEAM, 2010) se determinó para el municipio de Sasaima un índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua alto, lo que representa un riesgo significativo para la población local de sufrir problemas de abastecimiento de agua a causa de las condiciones de disponibilidad, regulación y presión que existe sobre los sistemas hídricos de los que se abastece. Esta situación se hace aún más crítica cuando las condiciones son las de un año seco, periodo durante el cual el valor aumenta significativamente. Adicionalmente el estudio muestra proyecciones para los años de 2015 y 2025 evidenciando situaciones aún más trascendentales.

En lo que concierne a adaptaciones al cálculo del índice, (Escolero et al., 2009) establecieron indicadores mediante el análisis de factores de infraestructura y socio-administrativos valorándolos a través de algoritmos simple con el fin de evaluar la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento en México y el posible impacto del cambio climático en la disponibilidad del recurso, con lo que diagnosticaron una baja capacidad actual de adaptación frente al cambio climático e identificaron la necesidad inmediata de tomar medidas al respecto. Asimismo, (Aponte, 2013) propone una metodología para modelar el impacto del cambio climático en la disponibilidad del recurso Hídrico en la ciudad México, usando un análisis cuantitativo de una amplia variedad de aspectos hidráulicos, ambientales, técnicos, económicos y sociales. Por su parte, para la determinación de disponibilidad de agua la Norma Oficial Mexicana NOM-011-(CONAGUA, 2000a) que tiene como objetivo establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, para su explotación, uso o aprovechamiento brindara bases conceptuales y de cálculo para estructurar la metodología de adaptación.

Un proyecto que abarca temas y técnicas similares a los propuestos en esta investigación y que sirvió como punto de partida es el propuesto por (Sánchez et al 2004) en este, mediante la creación de criterios y sistematización de escenarios con posicionamiento global se determinaron las áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico en la zona de Sarapiqui. Asimismo, (Munda et al, 1995) consideran necesario utilizar modelos que ofrezcan una representación comprensible y operacional del mundo real; para ello es recomendable el uso de modelaciones cuyo impacto permita la interacción entre juicios cuantitativos y cualitativos describiendo una colección de conceptos, métodos y técnicas que ayuden a los individuos o grupos a tomar decisiones cuando se involucran diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados (Salo & Hamalainen, 2010). Combinar métodos en un mismo proyecto de investigación puede ser ventajoso por diversas razones (Philip, 1998), el uso de más de una técnica en la recolección de pruebas ayuda a minimizar los riesgos de obtener postulados erróneos. Además, se puede llevar adelante la recolección del material y luego generar datos cuantitativos como cualitativos. Los hallazgos cuantitativos permiten obtener conclusiones generales a partir de premisas particulares y los cualitativos ofrecen la posibilidad de recoger información a partir de los hechos y del ámbito en que se presentan éstos (Aponte, 2013).

Para efectos de esta investigación se pretende seguir los lineamientos metodológicos propuestos en los informes de (Corporación ECOVERSA, 2008; 2009; 2010) para el IDEAM y articular los lineamientos internacionales de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sobre vulnerabilidad del recurso hídrico en escenarios de cambio climático global (IPCC, 2007). Para la evaluación de los indicadores del recurso hídrico se siguen los métodos descritos por (UNESCO, 2009;) e (IDEAM, 2010). De igual manera, al formular la estructura metodológica en la evaluación de la vulnerabilidad del recurso hídrico este trabajo se basa en la metodología presentada en la Primera Comunicación Nacional de Colombia para la determinación de la vulnerabilidad del recurso hídrico colombiano que incorpora los avances realizados al nivel de asimilación de nueva información y de nuevos métodos de parametrización y validación (IDEAM, y otros, 2001).

El cálculo de índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua es trascendental en la evaluación del recurso hídrico pues es el único que vincula la oferta y la capacidad de regulación de las cuencas para definir cuál es la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de desabastecimiento de acuerdo con las diferencias en régimen hidroclimatico de cobertura vegetal y suelos. No obstante, de acurdo con (ECOVERSA, 2010) este índice presenta contradicciones en la escala de aplicación del mismo por disposición de información para su estimación, ya que de acuerdo con la experiencia de los autores varios intentos para reconstruir la metadata del indicador han culminado negativamente. Aunado a lo anterior se puede mencionar que el establecimiento de patrones de relación atmosfera-vegetación-suelo es una tarea aún no culminada y aún es vigente una discusión científica sobre este asunto en la que se debaten los niveles de regulación que puede ofrecer el sistema vegetación suelo y la escala a la que estos pueden tener efectos positivos ó negativos según sea el caso. Al parecer, algunos trabajos señalan que los efectos en cuencas pequeñas pueden ser significativos mientras que los mismos en cuencas medianas a grandes aún se encuentran en discusión (Johnson, 1998).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Transición urbano –rural

Difiere ampliamente del concepto de ordenamiento territorial “zona de transición urbano-rural o zona de expansión urbano-rural” que hace referencia a las áreas periféricas de un centro urbano. Para esta investigación se definirá como el proceso de diversificación de las dinámicas sociales, económicas y ambientales de la población rural y, la transformación del perfil de los territorios rurales (IICA, 2000). Es una diversificación de los espacios netamente rurales a la par del proceso de crecimiento de las urbes y de una mayor demanda por los servicios que ofrece las zonas rurales por parte de nuevos actores tanto para recreación como para segunda residencia, proceso que transforma la relación entre campo y ciudad; La tendencia a establecer centros urbanos en el medio rural se traduce en un acercamiento espacial que invalida la antigua distinción entre lo rural y lo urbano; Por eso, esa relación se plantea como una condición de fluidez entre el campo y la ciudad reflejada en una gradiente en la cual ambas categorías se aproximan funcionalmente. Asimismo, y sobre todo en virtud del desarrollo de las comunicaciones, se ha dado una transformación en el estilo de vida y en los valores comúnmente asociados a lo rural (Sepúlveda, 2008a).

Los vínculos urbano-rurales son esenciales para el desarrollo de las actividades agrícolas y no agrícolas en el interior del territorio entendido este como una construcción social (es decir un conjunto de relaciones sociales que dan origen y a la vez expresan una identidad y un sentido de propósito compartidos por múltiples agentes (Shcejtman y Berdegué, 2004)) por tanto en un mismo pueblo o pequeño poblado rural podrían coexistir múltiples actores para quienes lo rural

adquiere sentidos y significados distintos (Sastoque, 2014). Actualmente se evidencia un escenario en el que formas alternativas de concebir y experimentar lo rural remitirán a un escenario físico y social económicamente multisectorial y socialmente heterogéneo, donde los agricultores dejan de ser los únicos y legítimos representantes de las sociedades rurales, dando lugar a la expresión de diferentes actores como los denominados neo-rurales (Chevalier, 1981) sujetos de origen urbano que por uno u otro motivo optaron por trasladarse al campo (Sastoque, 2014).

2.2.2 Desarrollo Sostenible Micro-Regional (DSM)

Una micro-región es un Espacio rural o unidad mínima de análisis, donde se procesan relaciones sociales, económicas, históricas, culturales para ejecutar actividades de naturaleza diversa, tales como la protección de recursos naturales estratégicos (Sepúlveda 2001) y el desarrollo de programas orientados a planificar y tomar acciones para potenciar las capacidades productivas de la comunidad y de combate a la pobreza, entre otros, (Boisier, 1994). En este contexto, los criterios de definición física de una micro-región como unidad de planificación- son flexibles y fáciles para adaptarse a cada circunstancia. El Desarrollo Sostenible Microregional se concibe como un marco de referencia conceptual orientador de estrategias, políticas y programas de desarrollo rural, que sirve de fundamento tanto para lograr cambios en las causas estructurales y funcionales de los desequilibrios espaciales y socioeconómicos, como para corregir algunas tendencias indeseables y promover la transformación del medio rural con una perspectiva de largo plazo (Sepúlveda, 2001). Todo ello en el contexto de estrategias nacionales de desarrollo y con las debidas vinculaciones al comercio local, regional, nacional e internacional (IICA, 2002).

El enfoque territorial del desarrollo rural es un nuevo paradigma que emerge como contraposición al planteamiento actual de extracción intensiva de los recursos naturales y de las formas de producción y comercialización que han tenido impactos sociales y ecológicos severos (Sepúlveda, 2002). Esta nueva perspectiva a escala local, ofrece a la población la posibilidad de transformar su territorio desde un punto de vista sistémico dónde la dimensión social, económica, ambiental y político-institucional son fundamentales en la planificación y orientación del diseño y ejecución de instrumentos de manejo con una visión de largo plazo que garantice la distribución equitativa de los beneficios del desarrollo (IICA, 2003) (Schejtman & Berdegué, 2004) (García, 2011).

El desarrollo Sostenible Micro-Regional Comparte las premisas del desarrollo sostenible planteadas en la comisión mundial sobre medio ambiente (ONU, 1987) pero destaca el uso racional de los recursos naturales como elemento fundamental de cualquier estrategia de desarrollo, no solo por su importancia para las generaciones presentes y futuras, sino porque esos recursos constituyen uno de los activos más importantes del medio rural, se orienta hacia un cambio de enfoque, para abordar de manera más concreta los problemas que afectan al medio rural (Alburquerque, 2006) y como aproximaciones complementarias al tratamiento de problemas como el deterioro de los recursos hídricos, la pérdida de biodiversidad, la desertificación, la lucha contra la pobreza y la integración de grupos sociales excluidos (mujeres, jóvenes, migrantes, indígenas y afrodescendientes) entre otros (IICA, 2005).

2.2.3 Microcuenca

La unidad natural superficial, morfográfica, definida por la divisoria geográfica de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas" en un territorio dado. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior, las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios (Jiménez, 2004) y (Hubp,1989).

De igual manera, se define como una pequeña cuenca de primer orden, en donde vive un cierto número de familias (Comunidad) utilizando y manejando los recursos del área, principalmente el suelo, agua, vegetación y fauna. (Wambeke , 2003). Este concepto debe ser considerado desde un principio como un ámbito de organización social,

económico y operativo, además de la perspectiva territorial e hidrológica tradicionalmente considerada, pues es en la microcuenca donde ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (bienes y servicios producidos en su área), sociales (patrones de comportamiento de los usuarios directos e indirectos de los recursos de la cuenca) y ambientales (relacionados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores) (Alatorre, N. 2004).

Para el desarrollo de esta investigación se definió como unidad micro-regional de análisis la Microcuenca Quebrada-Negra, no exclusivamente por problemáticas de la quebrada sino porque la microcuenca corresponde al espacio mínimo para una gestión integral del recurso e involucra a los actores territoriales del área de estudio.

2.2.4 Gestión integral recurso hídrico (GIRH)

Proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP y TAC, 2000). Operativamente, el enfoque de la GIRH involucra la aplicación de conocimiento de diversas disciplinas, así como las perspectivas de diversos actores para elaborar e implementar soluciones eficientes, equitativas y sostenibles a los problemas hídricos y de desarrollo. Por lo tanto, la GIRH es una herramienta para el desarrollo y la gestión del agua que hace un balance de las necesidades económicas y sociales, y asegura la protección de ecosistemas para generaciones futuras (GWP, 2015). El agua tiene muchos usos diferentes que demandan una acción coordinada (agricultura, ecosistemas saludables y/o la gente y su sustento). Un enfoque de la GIRH es un proceso abierto y flexible que une a tomadores de decisión de diversos sectores que repercuten en el recurso hídrico, y trae a todos los actores a la mesa para establecer políticas y decisiones balanceadas en respuesta a retos hídricos enfrentados (GWP,2015).

La política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico se define como un proceso encaminado a integrar al conjunto de iniciativas en torno al recurso hídrico y los aspectos de fortalecimiento institucional, parte de la conceptualización de una estrategia formativa, el diseño de la metodología y los contenidos, así como la implementación de acciones formativas destinadas a promover la gestión integral del recurso hídrico y el aprovechamiento sostenible del agua entre autoridades ambientales, sectores productivos y otros actores claves en la gestión, que inciden en la toma de decisiones que involucran la reducción de la contaminación, la distribución del recurso y la gestión del riesgo relacionados con el agua (MAVDT, 2010).

2.2.5 Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua

La disponibilidad de agua Representa el volumen de agua neto por año existente en un territorio. A nivel nacional, ésta se calcula a partir de la suma de la precipitación y el volumen de agua escurrido proveniente del extranjero, menos el volumen correspondiente a la evapotranspiración y el que escurre a otros países (CONAGUA, 2008). El IDEAM la define como el volumen total del recurso hídrico al interior del país efectiva para diversos usos considerando las necesidades de agua para el sostenimiento de los ecosistemas dentro de un territorio definido (IDEAM, 2010).

El índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua, se define como un indicador cualitativo del grado de fragilidad del sistema hídrico para el abastecimiento y la amenaza de sequía cuando se presentan condiciones hidro-climáticas medias y extremas.

La vulnerabilidad en cuanto a la disponibilidad de agua es el indicador del grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener esa disponibilidad. Se obtiene de la relación entre el índice de escasez y la regulación hídrica natural del conjunto suelo-cobertura vegetal. Hay que proceder a hacer manejos adecuados, profundizar en conocimientos para

cuidar los recursos y, definitivamente, adelantar planes de ordenamiento y manejo del agua, es decir, un ordenamiento ambiental. El índice de escasez esta físicamente consignado en la vulnerabilidad, es la interrelación entre el índice de escasez, demanda sobre oferta y la regulación hídrica (Ramírez, 2003).

2.3 MARCO LEGAL

Teniendo en cuenta la necesidad mundial de cuidar el medio ambiente a lo largo de las últimas décadas se han creado alianzas de cooperación entre los diferentes estados, que buscan salvaguardar los recursos naturales protegiendo la integridad del sistema ambiental entendiéndose este como soporte vital de vida y de desarrollo económico. Es así como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, reunida en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972 y la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992 abordan este tema con el objetivo de establecer principio y alianzas en pro de preservar y cuidar el medio ambiente.

De acuerdo a lo anterior, en Colombia se ha desarrollado un marco normativo ambiental que promulga la protección y cuidado de los recursos naturales y para efectos de esta investigación se revisara la legislación ambiental específica para el manejo del agua.

Tabla 1: Legislación ambiental aplicable al manejo del agua

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 1449 de 1977	Mediante el cual se establecen obligaciones a los propietarios de predios sobre conservación, protección y aprovechamiento de las aguas.
Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos y se dictan otras disposiciones.
Ley 2811 de 1979	"Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente" Estableció que se entiende por ordenación de una cuenca "la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras de tratamientos." Art. 316: en relación con los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos del país, de conformidad con la estructura definida en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.
Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico de 2010	Por la cual se estructuro un modelo espacial para una ordenación coherente de las cuencas hidrográficas.
Ley 1523 de 2012	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. "que el riesgo asociado al recurso hídrico constituye un componente fundamental de la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico, razón por la cual además de incorporarse un componente de gestión de riesgo dentro del proceso de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, dicha incorporación debe considerarse y someterse a lo estipulado en la ley 1523 de 2012, en materia de funciones y competencias.

Ley 1450 de 2011	Art. 215: Competencia de las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible, de los grandes centros urbanos y de los establecimientos públicos ambientales en gestión integral del recurso hídrico. PARÁGRAFO. Además de las anteriores, en el marco de sus competencias, corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas conforme a los criterios establecidos por el Gobierno Nacional en cabeza del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o quien haga sus veces.
Los fundamentos de la política ambiental colombiana señalados en la Ley 99 de 1993 con mayor correspondencia con la gestión integral del recurso hídrico es:	
• La Declaración de Río sobre Ambiente y Desarrollo (Naciones Unidas, 1992).	
• Las zonas de páramo, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial (numeral 4, artículo 1 del Título I).	
• En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso (numeral 5, artículo 1 del Título I).	

Fuente: Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA YDESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.

2.4 MARCO GEOGRÁFICO

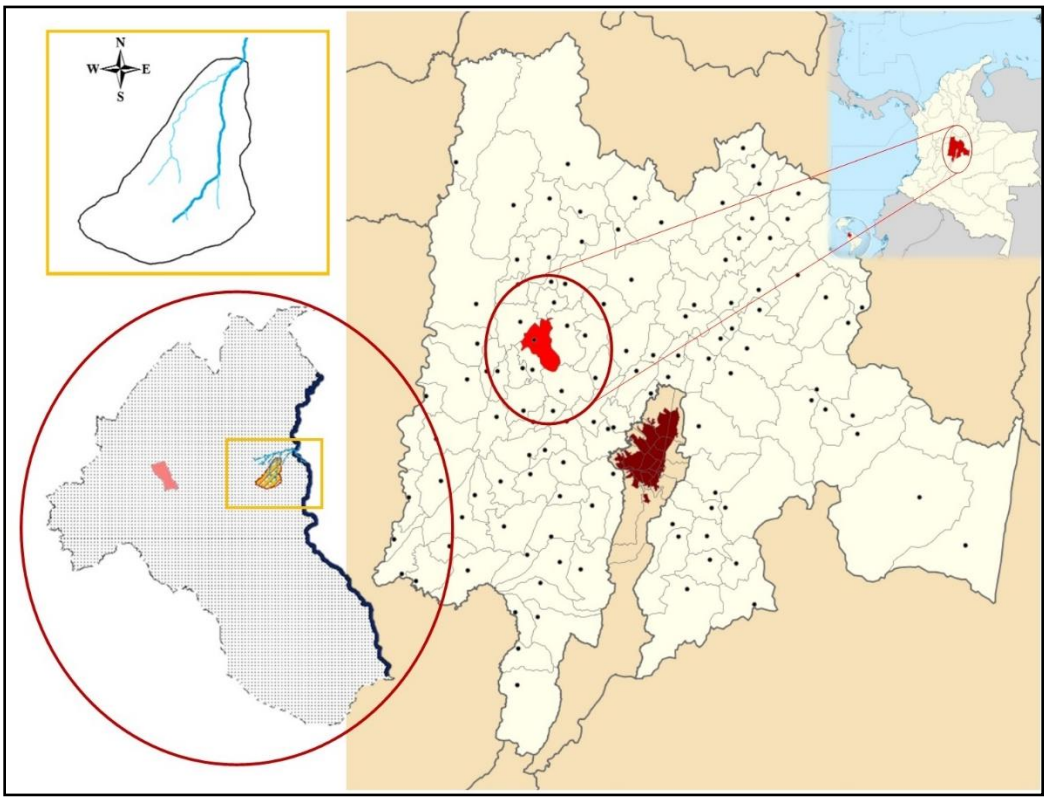
2.4.1 Localización

El municipio de Sasaima, Cundinamarca se encuentra en las coordenadas W 74° 23' 34.4" y N 4° 57' 51.84", tiene una temperatura media de 22°C, con una precipitación media anual de 1500 mm, se encuentra a 1150 msnm en la zona urbana y a 1191 msnm en la cabecera municipal. Presenta un periodo considerablemente bajo en lluvias entre los meses de junio a septiembre y el modelo de distribución de lluvias es bimodal con valores máximos en abril y noviembre (PBOT Sasaima, 2012).

La vereda Piluma se encuentra localizada a 70 Km de Bogotá aproximadamente a una (1 hora) del casco urbano del municipio de Sasaima. Este territorio se encuentra en su mayoría en posición de montaña al costado occidental de la cordillera oriental, siendo entonces el paisaje de montaña el que predomina, sin embargo, a partir de procesos endógenos y exógenos que inciden en los modelados del paisaje, se evidencia en la vereda y parte del municipio procesos que modifican la geomorfología de la zona (Gobernación de Cundinamarca, 2015).

El área de estudio micro-cuenca Quebrada Negra se localiza entre las coordenadas w 74° 23' 33.8" y N 4° 57' 59", con una altitud promedio de 1305 msnm, entre isotermas 20 y 22°C e isoyetas 1200 y 1300 mm, con un área aproximada de 80 Ha.

Figura 1: Área de estudio: Localización del municipio en el Departamento de Cundinamarca, Vereda Piluma, Microcuenca Quebrada Negra



Fuente: Municipio de Sasaima en el Departamento de, (2015, Abril 22) Recuperado de http://www.sasaima-cundinamarca.gov.co/presentacion.shtml; Adaptación Autores: Vereda Piluma, Microcuenca Quebrada-Negra

2. METODOLOGIA

Esta investigación de tipo evaluativo-propositivo tiene como objeto proponer una aproximación metodológica al método de cálculo de los parámetros que determinan el índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua, se realiza bajo el enfoque de estudio de caso con una unidad de observación definida como la microcuenca de la Quebrada-negra en la vereda Piluma, municipio de Sasaima Cundinamarca.

3.1 FASE 1: EVALUACIÓN

3.1.1 Elementos metodológicos del objetivo 1

Realizar una revisión documental comparativa de las metodologías propuestas en Latinoamérica para determinar el índice de vulnerabilidad hídrica, evaluando criterios de cálculo que definen las condiciones de adaptabilidad de la metodología seleccionada.

3.1.2 Instrumentos metodológicos

Para abordar este objetivo se inició la revisión documental comparativa de las metodologías propuestas en Latinoamérica para determinar el índice de vulnerabilidad hídrica, a partir de un documento que brindó a la investigación una perspectiva generalizada de las dinámicas, tendencias y avances en el concepto, este es **Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el caribe**, este documento fue preparado por Humberto Peña, Consultor de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), bajo la supervisión de Andrei Jouravlev, Oficial de Asuntos Económicos de la Unidad de Recursos Naturales y Energía de la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL, con la colaboración de Caridad Canales, funcionaria de la misma División, en el marco de las actividades del proyecto de la CEPAL y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ).

La revisión documental se realizó consultando información en línea de cuatro (4) estudios realizados en países latinoamericanos de los cuales se seleccionó el ***estudio para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos*** de Nicaragua (Silvac,2008)., ***Estudio Nacional del Agua - ENA 2010*** para el caso de Colombia, México con ***la evaluación de vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable en el contexto de cambio climático, y la vulnerabilidad ante las sequias*** (Ávila, 2008) y por último se consideró Chile con el estudio de caso ***vulnerabilidad a las sequias.*** (CEPAL,2016).

3.1.3 Tratamiento de la información

Una vez capturada la información se realizó una matriz comparativa de las variables consideradas en cada metodología para determinar la vulnerabilidad hídrica, en ella se comparan factores como ventajas y desventajas de los métodos, disponibilidad de información, análisis del parámetro y del rango de evaluación, escala de trabajo y alcance de su aplicación.

3.2 FASE 2: FORMULACIÓN METODOLÓGICA

3.2.1 Elementos metodológicos del objetivo 2

Proponer adaptaciones a los métodos de cálculo de los parámetros que determinan el índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua aplicables a las características locales.

3.2.2 Instrumentos metodológicos

Para formular las adaptaciones al método de cálculo se elaboró una matriz de adaptaciones metodológicas de los parámetros validados en las metodologías consultadas, determinando aquellos que más se ajustaban a la disponibilidad de información a escala local, con el fin de seleccionar una única metodología de cálculo.

Se formularon las adaptaciones aplicables a los parámetros de cálculo del índice de uso de agua e índice de retención y regulación hídrica considerando la descripción conceptual y método de cálculo formulado en los estudios de caso evaluados.

3.2.3 Tratamiento de la información

La información obtenida se procesó mediante el paquete estadístico Microsoft Excel 2016, agrupando los datos en una matriz de parámetros de cálculo para identificar los parámetros calculables (Demanda hídrica, Oferta hídrica, Retención y regulación hídrica).

3.3 FASE 3: VALIDACIÓN

3.3.1 Elementos metodológicos del objetivo 3

Validar las adaptaciones formuladas mediante su aplicación en un estudio de caso para la microcuenca Quebrada-negra de la vereda Piluma en el municipio de Sasaima Cundinamarca.

3.3.2 Instrumentos metodológicos

Se caracterizó las condiciones fisicogeográficas, biofísicas y socioeconómica considerando como parámetros de gran importancia la demanda hídrica, oferta hídrica, las condiciones de regulación del área hidrográfica y las fuentes de abastecimiento entre otros, para lo cual se consultó información de fuentes oficiales y se validaron los datos obtenidos mediante la corroboración en campo haciendo uso de herramientas de participación comunitaria; levantamiento cartográfico mediante información secundaria, medición de caudales, aforos en los sistemas de abastecimiento, caracterización de cobertura vegetal y caracterización de usuarios. (Corporación ECOVERSA, 2008; 2009; 2010). A continuación, se describe el uso de las fuentes de información.

a) Fuentes secundarias: El levantamiento de la información se llevó al cabo consultando diferentes fuentes oficiales (CAR, IDEAM, IGAC y Alcaldía municipal), imágenes satelitales de Google Earth 2015, 2016 escalas, nivel de resolución para fotointerpretación y consulta bibliográfica de información disponible en línea.

b) Fuentes primarias: La información susceptible a determinar de forma directa se obtuvo mediante diez (10) visitas de campo al área de estudio haciendo uso de instrumentos de captura de información como encuestas, formatos de diligenciamiento, mediciones de caudales y georreferenciación de elementos territoriales.

   Para detallar la información obtenida se implementaron diálogos de tipo exploratorio con individuos o grupos de propietarios de los predios, estableciendo una guía de entrevista dinámica en bloques temáticos, relacionadas con las características sociales, ambientales y económicas de la unidad familiar. (Gómez, Et al., 2015).

3.3.3 Tratamiento de la información

Contempla la revisión de la información multidimensional de las características biofísicas, fisicogeográficas y socioeconómicas de la microcuenca que facilita el acceso, análisis e interpretación de información continúa articulada (Ortegón et al, 2005) para visualizar, consultar y evaluar diferentes escenarios conjugando elementos necesarios en

la evaluación del recurso hídrico. Para la consolidación de la información proveniente de distintas fuentes que contribuyan a rebelar las conexiones y efectos sinérgicos entre parámetros, mediante la corroboración con actores (IICA, 2002), se contó con herramientas de análisis estadístico (Paquete estadístico Microsoft Excel 2016) y espacial (AutoCAD 2015, ArcGis 10.2 y Google Earth, 2015).

3. RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN Y REVISIÓN DOCUMENTAL DE METODOLOGÍAS DE VULNERABILIDAD HÍDRICA

Para aplicar el concepto de vulnerabilidad en la evaluación del recurso hídrico, es necesario medirla. Sin embargo, definir criterios para cuantificar la vulnerabilidad no es tarea sencilla debido a la falta de consenso en el verdadero significado del término, la complejidad de los sistemas analizados y el hecho de que la vulnerabilidad no es frecuentemente un fenómeno observable (Downig et al, 2001), la dificultad aumenta cuando se evalúa un fenómeno gradual y continuo tal como la escasez o la disminución de la cantidad de agua potable disponible. Debido a esta complejidad se ha planteado para los casos estudiados un conjunto o combinación de indicadores utilizando métodos de medición cualitativos y semi-cuantitativos propuesto y aplicados para cada país a escalas diferentes.

Vulnerabilidad y seguridad hídrica son dos conceptos estrechamente relacionados. La vulnerabilidad mide el riesgo y daño que los procesos biofísicos y sociales pueden ocasionar a la población y los ecosistemas. La seguridad hídrica muestra la capacidad de una sociedad para satisfacer sus necesidades básicas de agua, la conservación y el uso sustentable de los ecosistemas acuáticos y terrestres; así como la capacidad para producir alimentos sin atentar contra la calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles, y los mecanismos y regulaciones sociales para reducir y manejar los conflictos o disputas por el agua. (García, 2008).

La aplicación del concepto de vulnerabilidad hídrica en distintas regiones del mundo muestra que se trata de una aproximación que ha sido motivo de diversas interpretaciones. De este modo, para su eventual uso en América Latina y el Caribe surge la necesidad de efectuar una revisión de las definiciones utilizadas y hacer un análisis de su adecuación a la naturaleza de los problemas relativos al agua en la región. (CEPAL, 2016). Para el desarrollo de esta investigación se realizó un análisis comparativo de las definiciones y técnicas para la medición de la vulnerabilidad hídrica, la seguridad y/o sus términos relacionados con el objetivo de obtener fundamentos de percepción y análisis que permitan formular una aproximación metodológica para la aproximación a la estimación del índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua a partir del enfoque micro regional que pretende reflejar de mejor manera los problemas existentes.

La gestión y aprovechamiento de los recursos hídricos juegan un papel de gran importancia en el desarrollo social y económico de la región, en especial considerando la relevancia que tiene la explotación de los recursos naturales en su economía. En América Latina y el Caribe se extraen para usos domésticos y productivos unos 290 mil millones de metros cúbicos de agua al año, lo que equivale al 2,2% de los recursos disponibles (FAO, 2015). El principal uso de carácter consuntivo corresponde a la agricultura de riego, con extracciones que equivalen a un 70% del caudal total extraído. El segundo tipo de aprovechamiento es el que se realiza para fines domésticos, y que alcanza el 19% del total. Por su parte, los usos mineros e industriales representan el 11% del total.

4.1.2 Estudio de caso Colombia

En Colombia se define el índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (VID), como el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) podría generar riesgos de desabastecimiento. (ENA 2010).

El indicador considera la relación demanda-oferta definida como índice de uso de agua (IUA) y las características que determinan la capacidad de regulación de agua a partir de los datos de las estaciones hidrológicas se estima índice de regulación y retención hídrica (IRH) por estación y se genera una representación espacial del indicador para determinar las subzonas en condiciones de mayor y menor capacidad de retener y regulación hídrica; mide la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales. Se calcula a partir de la curva de duración de caudales medios diarios (IDEAM, 2014) según la siguiente ecuación.

IRH= VP/Vt Ec (xx)

Donde:

Vp = Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.

Vt = Volumen total representado por el área bajo la curva.

4.1.3 Estudio de caso Nicaragua

Para el caso de Nicaragua el índice de vulnerabilidad hídrica no se origina por la disponibilidad del recurso sino por la calidad del agua para uso doméstico y agrícola considerando como principales fuentes de contaminación la deforestación, las aguas residuales domésticas, las industrias y los agroquímicos, a su vez se identificaron los principales factores que influyen en la vulnerabilidad por calidad como la cercanía de las fuentes hídricas a centros urbanos, erosión de los suelos, desechos sólidos, mal manejo de las fuentes de agua, entre oros. (Silvac,2008).

La estimación de la vulnerabilidad de los recursos hídricos se hace a partir del cálculo del índice de escasez, definiéndose como la relación de la demanda de agua, entre la oferta determinada por el potencial de las aguas superficiales y subterráneas; a dicho dato se le resta el riesgo de contaminación asociado a las fuentes hídricas equivalente al 10, 20 y 30 % del cálculo total con una ponderación cualitativa de bajo, moderado y alto respectivamente.

4.1.4 Estudio de caso México

Para evaluar los avances en temas de diagnóstico referentes a la vulnerabilidad hídrica se evaluaron dos entidades estatales competentes al respecto, uno es el centro virtual de cambio climático que proporciona información acerca de los escenarios y cambios climáticos de la Ciudad de México y otro es la Comisión Nacional del Agua un organismo administrativo descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, cuya responsabilidad es administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales en el país. Dentro de su estructura se encuentra el Servicio Meteorológico Nacional.

En términos de vulnerabilidad hídrica México evalúa 2 aspectos ***la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable en el contexto de cambio climático, la vulnerabilidad ante las sequias*** y ***la vulnerabilidad socio-ambiental.*** (Silvac,2008).

Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable*:* este estudio se aplica a una escala de ciudad, hace referencia al riesgo que disminuya la disponibilidad de agua potable entregada a los grandes centros urbanos, para ello las fuentes de abastecimiento son entendidas como el conjunto formado por aéreas

de captación (cuencas hidrológicas y acuíferos para agua subterránea) y la infraestructura (preseas, pozos, líneas de conducción, plantas de bombeo, etc). (Escolero,2009).

Vulnerabilidad ante las sequias: es índice se evalúa a escala regional para ello la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) definió el concepto de célula de planeación, esta corresponde al área geográfica formada por un conjunto de municipios que pertenecen a un solo estado, dentro de los límites de una sub-región hidrológica, (168 células en todo el territorio mexicano). (Conagua, 2011).

En términos generales, la vulnerabilidad es considerada como el grado en el que un sistema es susceptible a efectos adversos y está dada en función de tres factores (IPCC,2007): Grado de exposición, Sensibilidad y capacidad de adaptación.

Vulnerabilidad socio ambiental: proceso que conlleva a situaciones críticas e irreversibles en torno a la calidad y cantidad de los recursos hídricos que ponen en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento de los ecosistemas. La vulnerabilidad socio ambiental que un país o región experimenta puede ser un indicador de la seguridad hídrica, es decir, de la capacidad de la sociedad para garantizar: a) una adecuada cantidad y calidad de agua para el funcionamiento de los ecosistemas, b) la producción y autosuficiencia alimentaria, c) la satisfacción de las necesidades básicas de la población, d) la reducción y el manejo adecuado de los conflictos y disputas por el agua; y e) la capacidad para prevenir y enfrentar desastres como sequías, inundaciones y epidemias asociadas con enfermedades hídricas. En este sentido, se puede inferir que existe una relación inversamente proporcional entre vulnerabilidad socio ambiental y seguridad hídrica. (Ávila, 2008)

La vulnerabilidad socio ambiental debida al agua es un proceso complejo donde intervienen aspectos ecológicos hasta sociopolíticos, se desarrolló una propuesta metodológica. Esta consistió en construir una serie de indicadores —formas de vulnerabilidad— de tipo cualitativo y cuantitativo con el fin de evaluar la vulnerabilidad en un espacio y tiempo determinado: vulnerabilidad ecológica, climática por sequías e inundaciones, por disponibilidad de agua, por presión hídrica, por explotación de acuíferos, por contaminación del agua, agrícola, urbana, por marginación social, económica y política. El grado de vulnerabilidad para cada indicador se determinó con base en los valores máximos y mínimos que había en las regiones hidrológico-administrativas, obteniendo así tres valores de vulnerabilidad alta, media y baja. A continuación, se definen los diferentes tipos de vulnerabilidad.

- Vulnerabilidad ecológica: zonas hidrológicas con alta biodiversidad que están amenazadas.

- Vulnerabilidad climática: cambios en el patrón de precipitación que conllevan sequías e inundaciones en determinadas regiones del país. El grado de vulnerabilidad se obtuvo a partir de la frecuencia registrada de fenómenos extraordinarios como sequías.

- Vulnerabilidad por disponibilidad de agua: El volumen de agua superficial y subterránea potencialmente aprovechable con respecto al total de la población es lo que se llama disponibilidad. La vulnerabilidad se mide por los niveles de disponibilidad per cápita.

- Vulnerabilidad por presión hídrica: La relación entre disponibilidad de agua superficial y subterránea con respecto a los diferentes usos humano, agrícola e industrial es lo que se conoce como presión o estrés hídrico.

- Vulnerabilidad de agua subterránea: o por explotación de acuíferos, Los acuíferos que se encuentran en una relación de desequilibrio entre la extracción y recarga de agua se consideran sobreexplotados. En consecuencia, la vulnerabilidad se determina de acuerdo con el número y extensión de acuíferos sujetos a condiciones de alta sobreexplotación.

- Vulnerabilidad por contaminación del agua: Los cuerpos de agua (ríos, lagos) que tienen un bajo índice de calidad de agua (ICA) se consideran contaminados. La vulnerabilidad se determinó con base en aquellos que experimentaron altos niveles de contaminación por región hidrológica.

- Vulnerabilidad agrícola, La vulnerabilidad se mide por el alto porcentaje de agua utilizada para riego respecto del total nacional, el grado de sobreexplotación de los acuíferos, la alta contaminación del agua superficial y la ocurrencia de sequías y huracanes.

- Vulnerabilidad urbana: Las ciudades con más de cien mil habitantes que se encuentran en una situación de baja disponibilidad de agua y elevadas tasas de crecimiento demográfico o pobreza se consideraron como vulnerables.

- Vulnerabilidad por marginación social: se determina por el porcentaje de la población que tiene niveles de alta marginalidad social.

- Vulnerabilidad económica: se determina a partir de los bajos niveles del PIB que conllevan una limitada capacidad económica para resol ver los problemas de abastecimiento y saneamiento del agua.

- Vulnerabilidad política: se expresa en el número de conflictos y disputas por el agua registrados en las regiones hidrológicas.

4.1.5 Estudio de caso Chile

La FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación junto con La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura de Santiago de Chile llevaron a cabo un estudio piloto que elaboró un conjunto de indicadores y mapas de vulnerabilidad diseñado para aplicar a nivel de comunas, con el fin de distinguir en el territorio aspectos de vulnerabilidad de los componentes ambiental, productivo y social ante eventos climáticos como la sequía, denominado ***gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile***. (CEPAL,2016).

El resultado final corresponde a un mapa de vulnerabilidad ante la sequía que refleja las condiciones de fragilidad de cada componente, el objetivo de esta herramienta fue apoyar la priorización de acciones de emergencia y planificar la adaptación en el mediano y largo plazo. Los criterios para la elaboración de la cartografía de vulnerabilidad fueron su replicabilidad, y que fueran representativos a escala comunal, regional y nacional. Para ello se realizó una representación espacial de los factores que influyen en la vulnerabilidad de un territorio ante la sequía mediante la selección de un conjunto de indicadores de tipo biofísicos, socioeconómicos y productivos vinculados a la vulnerabilidad del territorio frente a la sequía. Como una primera aproximación para el establecimiento de un indicador compuesto de vulnerabilidad a sequía, se seleccionaron siete indicadores.

Tabla 2: Indicadores de vulnerabilidad por componente

COMPONENTE	INDICADOR
Ambiental	• Índice Global de Aridez • Índice de Retención de Humedad del Suelo
Productivo	• Seguridad de Riego • Diversificación productiva • Indicador de Adaptación Tecnológica
Socio económico	• Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) • Indicador de dependencia del Agro

Fuente: FAO, 2010

A continuación, se resalta el Índice Global de Aridez y otros del componente ambiental.

$$\text{IGA} = \frac{\frac{(1 - PCEC)}{12} + IHE + 2 * \frac{(1 - DEFH)}{2000}}{3}$$

- PSEC: Periodo seco, número de meses por año en los cuales la precipitación no alcanza a cubrir el 50% de la ETP (Evapotranspiración potencial).

- IHE: Índice de humedad estival, coeficiente entre la precipitación y la ETP promedio de los 3 meses más cálidos (intensidad de la sequía estival).

- DEFH: Déficit hídrico anual, sumatoria anual de las diferencias negativas entre la precipitación y la ETP mensual (requerimientos máximos de riego).

- Índice de Retención de Humedad del suelo: Suministro de agua superficial del suelo, o de humedad disponible para los cultivos y la vegetación, mediante un análisis combinado de:

1. Condición física del suelo: manera en que el sustrato acepta, retiene y trasmite agua a las plantas.
2. Capacidad de infiltración de agua determinada por el tipo de sustrato vegetal existente.

- Retención de humedad aprovechable del suelo: A mayor capacidad del suelo de retener humedad, mayor será el tiempo que las especies vegetales podrán extender su sobrevivencia en dicho sustrato, luego de que caiga la última lluvia. El concepto se denomina *capacidad de retención de humedad aprovechable en el suelo*, depende en forma directa de características del suelo como la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, profundidad, pedregocidad.

  En las series de suelos, donde no se cuenta con los valores precisos para el cálculo del HA, se usó un valor estimado de humedad aprovechable, asociado a la capacidad de uso de suelo, de acuerdo a la propuesta de Honorato (2000), como sigue:

Tabla 3: Relación capacidad de uso y humedad aprovechable

Capacidad de uso	Humedad aprovechable (cm)
Clase I	18 o mas
Clase II	12 - 18
Clase III	9,5 - 12
Clase IV	5 - 9,5
Clase V, VI Y VII	Menor a 5
Clase VIII	Sin valor

Fuente: Honorato,2000

Tabla 4: Matriz de relación para el cálculo de vulnerabilidad

Humedad aprovechable (cm)	Valor de retención	Asignación para el cálculo de vulnerabilidad
Mayor a 12	Alta retención	1
9,5 – 12	Media retención	2
5 - 9,5	Baja retención	3
Menor a 5	Muy baja retención	4

Fuente: Honorato,2000

- Índice de diversificación productiva: Tanto la diversificación de las fuentes de ingresos como la diversificación productiva fortalecen los sistemas de vida y aumentan la probabilidad de reducir los impactos de una sequía. Por un lado, las fuentes de ingresos alternativas y extra prediales dan cuenta de la capacidad de las comunidades de generar actividades complementarias y, por tanto, ingresos alternativos enfrentados a un desastre natural (Torres et al., 2005).

  Se define diversidad agrícola como la cantidad de cultivos presentes en una superficie cultivada determinada (parcela, región, otros) o, más ampliamente definido, en un agrosistema, y el peso relativo de cada cultivo en esa superficie.

Una vez caracterizados los estudios de caso para los países seleccionados, a continuación, se presenta una matriz que resume las metodologías propuestas en cada estudio de caso.

Tabla 5: Matriz resumen de metodologías de cálculo de la vulnerabilidad hídrica

<table>
<tr><th>País</th><th>Índice</th><th>Parámetros</th><th>Descripción</th><th>Método de calculo</th><th>Categoría de vulnerabilidad</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Nicaragua</td><td rowspan="4">Índice de escasez</td><td>Demanda (D)</td><td>Corresponde a la sumatoria de los consumos de los usuarios del recurso hídrico clasificados en los sectores de: domestico, riego, hidroeléctrico, industrial, ganadería y demanda ecológica.</td><td rowspan="4">Índice de escasez IE = (D/ON)*100</td><td rowspan="4">Se determina con la relación directa entre el % de afectación al potencial y el potencial, en donde:
<table><tr><td>30</td><td>20</td><td>10,00</td></tr><tr><td>alto</td><td>moderado</td><td>bajo</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Potencial (P)</td><td>Sumatoria del volumen de aguas subterráneas y aguas superficiales</td></tr>
<tr><td>Afectación al Potencial (AP)</td><td>Volumen definido por el deterioro de la calidad del agua, lo que equivale a un 30,20 y 10% de afectación volumétrica con respecto al potencial disponible.</td></tr>
<tr><td>Oferta Neta (ON)</td><td>Corresponde a la diferencia entre el potencial (P) y el %de afectación al potencial (AP)</td></tr>
</table>

País	Índice	Parámetros	Descripción	Método de calculo	Categoría de vulnerabilidad
México	vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable	Vulnerabilidad de la infraestructura	La infraestructura se evalúa en términos de: Estado; Exposición a daños por terceros y Capacidad	• Estado: Edad, Fugas, Número de pozos fuera de servicio, reducción de capacidad en presas.	Para cada parámetro en este caso Índice se asignó una valoración numérica dado por la suma de la valoración asignada para cada variable entre 1 y 10 y representa la importancia de cada indicador para la disponibilidad de agua (según la percepción de los técnicos de cada área relacionada y la percepción académica: Rangos de Valoración de 1 a 30 / de 30 a 60 / de 60 a 90 Bajo / Medio / Alto
				• Exposición a daños por terceros: Conducción centralizada, incidentes de vandalismo y tomas clandestinas	
				• Capacidad: Capacidad usada/capacidad instalada	
		Vulnerabilidad Ambiental	Evalúa: Disponibilidad, Calidad del agua, y degradación ambiental	• Disponibilidad: Balance Hídrico	
				• Calidad de agua: Indicadores Actuales de un deterioro medido	
				• Degradación ambiental en el área de captación: Fuentes de contaminación, erosión, cambio de usos del suelo, hundimientos, grietas.	
		Vulnerabilidad Socio-Administrativa	Evalúa: Conflictos locales por demanda de agua; eficiencia económica y situación Administrativa.	• Conflictos locales por demanda de agua: Conflictos ocurridos y latentes	
				• Eficiencia económica: Costo kwh por m3, inversiones requeridas	
				• Situación Administrativa: Regulación y contratos	

<table>
<tr><th>País</th><th>Índice</th><th>Parámetros</th><th>Descripción</th><th>Método de calculo</th><th>Método de calculo</th><th>Categoría de vulnerabilidad</th></tr>
<tr><td rowspan="3">México</td><td rowspan="3">Vulnerabilidad ante las sequias</td><td>Grado de exposición</td><td>Relación entre la brecha hídrica a futuro y la oferta sustentable</td><td>Cuantifica la dificultad que una célula de planeación tendría para satisfacer su demanda al año de prospección.</td><td>$Grado\ de\ exposicion = \frac{Demanda\ al\ 2030 - Oferta\ sustentable}{Oferta\ sustentable} = \frac{Brecha\ hidrica\ al\ 2030}{Oferta\ sustentable}$</td><td rowspan="3"><table><tr><th colspan="3">Clasificacion propuesta de los niveles de vulnerabilidad en base al factor global</th></tr><tr><th rowspan="2">Grado de vulnerabilidad</th><th colspan="2">Rangos</th></tr><tr><th>Minimo</th><th>Maximo</th></tr><tr><td>Muy alta</td><td>0.590001</td><td>1000000</td></tr><tr><td>Alta</td><td>0.290001</td><td>0.590000</td></tr><tr><td>Moderada</td><td>0.150001</td><td>0.290000</td></tr><tr><td>Baja</td><td>0.060001</td><td>0.150000</td></tr><tr><td>Muy baja</td><td>0.000000</td><td>0.060000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Sensibilidad</td><td colspan="2">Evalúa el grado de afectación ante las sequías, es decir la magnitud del daño en caso de una sequía</td><td># habitantes proyectados*Producto interno bruto nomina+impacto económico en las actividades agrícolas</td></tr>
<tr><td>Capacidad de adaptación</td><td>Resiliencia de la región ante condiciones de aridez es decir el potencial de adaptación al estrés impuesto por las sequias como consecuencia de una reducción severa de la precipitación.</td><td>En condiciones severas de disminución de precipitación las presas tendrían bajos niveles de almacenamiento y los acuíferos representarían la única fuente de suministro</td><td>Grado de explotación de los acuíferos nacional:
• Acuíferos Sub.explorados: la carga natural por precipitación es mayor a la extracción.
• Acuíferos Sobre-explorados: la carga natural por precipitación es menor a la extracción.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>País</th><th>Índice</th><th>Parámetros</th><th>Descripción</th><th colspan="2">Método de calculo</th><th>Categoría de vulnerabilidad</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Colombia</td><td rowspan="4">Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua</td><td rowspan="4">Índice de Uso del Agua</td><td>Demanda Hídrica (Dh)</td><td colspan="2">Corresponde a la sumatoria de los consumos de los usuarios del recurso hídrico clasificados en los sectores de: Dud = Demanda uso de agua sector doméstico; Dui = Demanda uso de agua sector industrial; Dua = Demanda uso de agua sector agrícola; Dup = Demanda uso de agua sector pecuario.</td><td rowspan="4">
<table>
<tr><th>IUA</th><th>Calificacion cualitativa</th><th>Descripcion</th></tr>
<tr><td>>50</td><td>Muy alta</td><td>La presion de la demanda es muy alta con respecto a la pferta</td></tr>
<tr><td>21-50</td><td>Alta</td><td>La presion de la demanda es alta con respecto a la pferta</td></tr>
<tr><td>11,01-20</td><td>Moderada</td><td>La presion de la demanda es muy alta con respecto a la pferta</td></tr>
<tr><td>1-10,01</td><td>Baja</td><td>La presion de la demanda es baja con respecto a la pferta</td></tr>
<tr><td><1</td><td>Muy baja</td><td>La presion de la demanda es no significativa con respecto a la</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Oferta Neta (Oh)</td><td colspan="2">Oh = Ohtotal - Oqamb</td></tr>
<tr><td colspan="2">donde,</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ohtotal = volumen total de agua superficial en unidad de análisis espacial y temporal determinada.
Oqamb = volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Índice de Retención y Regulación Hídrica</td><td colspan="2">Vp = Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.
Vt = Volumen total representado por el área bajo la curva.
IRH = Vp/Vt</td><td>
<table>
<tr><th>IRH</th><th>Calificacion cualitativa</th><th>Descripcion</th></tr>
<tr><td>>0,85</td><td>Muy alta</td><td>Muy alta retencion y regulacion de humedad</td></tr>
<tr><td>0,75-0,85</td><td>Alta</td><td>Alta retencion y regulacion de humedad</td></tr>
<tr><td>0,65-0,75</td><td>Moderada</td><td>Alta retencion y regulacion de humedad</td></tr>
<tr><td>0,50-0,65</td><td>Baja</td><td>Alta retencion y regulacion de humedad</td></tr>
<tr><td><0,5</td><td>Muy baja</td><td>Alta retencion y regulacion de humedad</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="3">Índice de Vulnerabilidad por Disponibilidad de agua</td><td colspan="2">Matriz de relación de rangos entre el índice de uso de agua (IUA) y el índice de retención y regulación (IRH)</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">Calificacion cualitativa</th><th colspan="4">Indice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua- IVDA</th></tr>
<tr><th>IRH-Alto</th><th>IRH-Moderado</th><th>IRH-Bajo</th><th>IRH-Muy bajo</th></tr>
<tr><td>IUA-Muy alto</td><td>Medio</td><td>Alto</td><td>Alto</td><td>Muy alto</td></tr>
<tr><td>IUA-Alto</td><td>Medio</td><td>Alto</td><td>Alto</td><td>Muy alto</td></tr>
<tr><td>IUA-Moderado/Medio</td><td>Medio</td><td>Medio</td><td>Alto</td><td>Alto</td></tr>
<tr><td>IUA-Bajo</td><td>Bajo</td><td>Bajo</td><td>Medio</td><td>Medio</td></tr>
<tr><td>IUA-Muy bajo</td><td>Muy bajo</td><td>Bajo</td><td>Medio</td><td>Medio</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

País	Índice	Parámetros		Descripción	Método de calculo	
Chile	**Vulnerabilidad a la sequia**	Vulnerabilidad del componente Ambiental	Índice Global de Aridez	indica la relación entre las precipitaciones y pérdida de agua por evaporación y transpiración de la cubierta vegetal.	PSEC: Periodo seco, numero de meses por año en los cuales la precipitación no alcanza a cubrir el 50% de la ETP (Evapotranspiración potencial) IHE: Índice de humedad estival, coeficiente entre la precipitación y la ETP promedio de los 3 meses más cálidos (intensidad de la sequía estival) DEFH: Déficit hídrico anual, sumatoria anual de las diferencias negativas entre la precipitación y la ETP mensual (requerimientos máximos de riego)	El IGA considera el valor normalizado (0 a 1) de la longitud del Período seco (PSEC), del Índice de humedad estival (IHE), y el Déficit hídrico anual (DEFH). Las dos primeras variables tienen un coeficiente de ponderación igual a 1, mientras que la tercera tiene coeficiente 2, lo que le da a este índice una cierta capacidad discriminatoria del grado de influencia marina, que varía desde el litoral hacia el interior (Santibáñez y Uribe, 1993).
			Índice de Retención de Humedad	relacionado con las características de retención de agua que tiene el suelo. Retención de humedad aprovechable del suelo: a mayor capacidad del suelo de retener humedad, mayor será el tiempo que las especies vegetales podrán extender su sobrevivencia en dicho sustrato, luego de que caiga la última lluvia.	HA: Capacidad de retención de humedad aprovechaba en el suelo CC: Capacidad de campo PMP : Punto d marchitez permanente (Limites que definen la necesidad de agua de un cultivo para su desarrollo) Da: Densidad aparente (gramos/cm3) se utiliza en forma adimensional por que se divide por la densidad del agua P: Profundidad del suelo o espesor del horizonte	$IGA = \frac{\frac{(1-PCEC)}{12} + IHE + 2 * \frac{(1-DEFH)}{2000}}{3}$ $HA = \frac{(CC - PMP)}{100} * Da * P$
		Vulnerabilidad del componente productivo	Seguridad de Riego	se relaciona con los recursos hídricos de un territorio, la cobertura de la infraestructura de riego, y con la demanda de agua que tienen los cultivos, siendo un indicador válido para zonas de riego.	infraestructura de riego existente como embalses, pozos, bocatomas y canales.	Este indicador refleja porcentualmente la satisfacción de las demandas de agua de los sistemas productivos en un periodo de años. A mayor seguridad de riego, mayor capacidad del sistema frente a periodos de escasez de agua. Se habla de seguridad de riego cuando existe sobre un 85% de probabilidad de satisfacción de la demanda de agua
			Diversificación productiva	Se refiere a la variedad de cultivos que hay presentes en una superficie.	Censo agropecuario, se incorporó factor de ponderación de consumo de agua para el cálculo.	$H' = -\sum [pi(\log pi)]$ Donde: pi = ni/N H' =Diversidad biológica Y ni = superficie asignada a cada tipo de cultivo N = Superficie total cultivada del agro sistema

<table>
<tr><th>País</th><th>Índice</th><th colspan="2">Parámetros</th><th>Descripción</th><th>Método de calculo</th><th></th></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="2"></td><td>Indicador de Adaptación Tecnológica</td><td>aptitud potencial a la innovación de cada comuna. Este indicador se considera importante para determinar la resiliencia de un sistema productivo, puesto que evalúa los activos de capital humano del sistema.</td><td rowspan="2">Los rangos se definieron considerando las siguientes variables: i) la cantidad de pequeños productores con edad inferior o igual a 45 años; ii) la cantidad de pequeños productores con educación básica a educación superior completa; iii) cantidad de pequeños productores con explotaciones que tengan regularizados sus títulos de dominio; y iv) la cantidad de pequeños productores con rendimientos de cultivos anuales superiores al promedio comunal. El puntaje final se obtiene de la sumatoria de los puntajes parciales alcanzados por cada variable</td><td>Rangos, según nivel de probabilidad de adopción de innovaciones tecnológicas, según características sicio productivas de la pequeña agricultura.
<table><tr><th>Menor</th><th>Media</th><th>Mayor</th></tr><tr><td>1-7</td><td>> 7 - 11</td><td>> 11 - 15</td></tr></table>
<table><tr><th>Condición de tenencia regular de la propiedad</th><th>Rendimiento de cultivos anuales superior al promedio comunal</th><th>Valor ponderado</th></tr><tr><td>0,00 - 0,54</td><td>0,00 – 0,071</td><td>1</td></tr><tr><td>0,55 – 0,66</td><td>0,072 -0,180</td><td>2</td></tr><tr><td>0,67 – 0,75</td><td>0,185- 0,285</td><td>3</td></tr><tr><td>0,76 – 1,00</td><td>0,286– 0,630</td><td>4</td></tr></table></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Vulnerabilidad del componente socio económico</td><td>Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)</td><td>Esta metodología refleja un nivel de pobreza relativa de acuerdo a las carencias de la población. Éste Índice incluye sub-indicadores como:
acceso a la vivienda, acceso a servicios sanitarios, acceso a la educación y capacidad económica.</td><td>1. Calidad de la vivienda (Urbanas y rurales)
2. Hacinamiento: Más de 3 personas por dormitorio.
3. Disponibilidad de agua potable: viviendas que no usa agua de la red pública
4. Sistema de eliminación de excretas.
5. Educación.
6. Capacidad económica: Más de tres personas por ocupado, en los que el jefe de hogar no hubiere terminado la escuela primaria (se contabilizan viviendas).</td><td>Modelo Thiessen: Se usó para representar el indicador de NBI con una distribución espacial completa y continúa, posteriormente de haber calculado el índice a nivel de entidades. La ventaja de este tratamiento es que permite la combinación e integración del indicador con otras capas de información también continuas. La desventaja de su uso es que, al construir las entidades a mano alzada, se incluyen errores que demandan correctivo.</td></tr>
<tr><td>Indicador de dependencia del Agro</td><td colspan="3">integra elementos de vulnerabilidad social y dependencia de los ingresos familiares en la actividad agropecuaria. Este indicador tiene una gran riqueza y actualidad de datos, y además se encuentra a escala de agrupaciones habitacionales.</td></tr>
</table>

Fuente: Autores, 2016

Tabla 6: Categorías de vulnerabilidad estudio de caso Chile

La integración cartográfica de los componentes ambiental, productivo y socioeconómico da lugar a la propuesta de un mapa de vulnerabilidad a la sequía para cada comuna, todos los demás parámetros se integran en la cartografía que representa la vulnerabilidad de un territorio.

Índice global de aridez		
> 1	Húmedo	
0,65 a 1	Sub-Húmedo	
0,50 a < 0,65	Sub-Húmedo seco	
0,20 a < 0,50	Semi-Arido	
0.05 a < 0,20	Árido	
<0,05	Hiper-Árido	

Humedad aprovechable (cm)	Valor de retención	Asignación para el calculo de vulnerabilidad	
Mayor a 12	Alta	1	
9,5 a 12	Media	2	
5 a 9,5	Baja	3	
menor a 5	Muy baja	4	

Vulnerabilidad ante sequias	
	Muy alta
	Alta
	Media alta
	Mediana
	Media baja
	baja
	Sin información

Fuente: Autores, 2016

Tabla 7: Matriz comparativa

País	Índice	Parámetros	Análisis rangos de evaluación	Análisis	Ventajas	Desventajas	Disponibilidad información	Aplicabilidad	Observaciones
Nicaragua	**Índice de escasez**	Demanda (D)	Los rangos de evaluación son muy amplios teniendo en cuenta los parámetros que componen el método de cálculo, lo cual no permite visibilizar la variabilidad de condiciones en estudios a pequeña escala.	Se reconocen dos factores adicionales a la tendencia en la estimación de la demanda: consumo para riego y el consumo del sector hidroeléctrico. Adicionalmente se considera la demanda ecológica como una variable en la sumatoria de la demanda total.	Se considerar apropiado estimar la demanda para riego ya que considera suplir estas necesidades en condiciones de escasez. Ante la necesidad de garantizar el funcionamiento del sistema hídrico es pertinente valorar el caudal ecológico como demanda y no como reducción en la oferta neta.	No se consideran condiciones hidroclimaticas extremas (tiempo seco)	Información de fácil obtención	El Parámetro es aplicable en la medida en que se pueda contar con la información necesaria en los consumos establecidos.	Los datos requeridos en la estimación del Parámetro son aplicables a una escala de trabajo amplia considerando que los consumos de estos sectores en una escala pequeña o micro región perderían proporción ante otros consumos.
		Potencial (P)		El Parámetro considera todas las fuentes hídricas de abastecimiento.	El Parámetro es aplicables a todas las condiciones de disponibilidad de agua.	Al considerar el agua subterránea como oferta y potencial de consumo se reduce la posible opción de considerarla como reserva para condiciones de escasez.	Se dificulta el acceso a la información de calidad.	El método se hace aplicable para territorios en donde no hay una oferta o potencial significativo de agua superficial.	
		Afectación P.		En la reducción de disponibilidad de agua solo se considera la calidad.	NA	NA	La captura de información requiere continuidad en el tiempo y presenta gran variabilidad.	Implica recursos técnicos y económicos lo que reduce su aplicación.	A parte de considerarse la cálida como variable de reducción de oferta o potencial hídrico, se pueden incluir otras variables como deterioro del entorno, periodos secos entre otros.

País	Índice		Análisis rangos de evaluación	Análisis	Ventajas	Desventajas	Disponibilidad información	Aplicabilidad	Observaciones
México	**vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable**	V. infraestructura	Se da igual peso a cada Parámetro lo que dificulta diferenciar que aspecto puede influir más en la vulnerabilidad el recurso	Es importante la caracterización de la red hídrica cuando se considera el abastecimiento de agua potables para consumo humano.	Un análisis de este tipo permite visibilizar problemas de tipo socioeconómico y aporta información importante para mejorar y garantizar la calidad en la prestación del servicio de abastecimiento.	Este modelo de administración de información se puede prestar para sesgarla en beneficio de algunos.	Se requiere de una recopilación, administración y actualización permanente de la información lo cual demanda recursos físicos, económico y técnicos.	Se dificulta su aplicabilidad por la complejidad de la información requerida.	La aplicabilidad de los parámetros es interesante ya que involucra información que garantiza una adecuada distribución del recurso, sin embrago se puede considerar otro método para incluirlo en el análisis del índice.
		Vulnerabilidad Ambiental		El análisis de vulnerabilidad ambiental incluye diversos aspectos entre ellos un aspecto interesante la degradación ambiental en el área de captación Fuentes de contaminación, erosión, cambio de usos del suelo, hundimientos, grietas	permite evaluar la afectación tanto de aspectos naturales como lo antrópicos haciendo visible los aspectos que se pueden mejorar	La vulnerabilidad ambiental solo es considerada para el área de captación y no para la región hidrológica	Información de fácil obtención a partir de fuentes oficiales y visitas de campo embargo demanda grandes recursos para su atención	Información aplicable en diferentes contextos	Se considera como Parámetro importante para adaptación
		V. Socio-Administrativa		La vulnerabilidad socio ambiental en aspecto pocas veces evaluado pero significativo al considerar los factores afectan la disponibilidad de agua	Amplia el rango de estudio de la vulnerabilidad hídrica	A pesar de ser incluyente en la temática social para evaluarlo solo se considera la percepción de los profesionales expertos en el tema y no a la población relacionada.	Información compleja de obtener y organizar para un estudio de gran magnitud.	pertinente para estudios a nivel micro-regional	Aunque se considera significativo este parámetro asignar pesos a las variables socio-administrativas en un método de cálculo representa un gran reto al intentar homogenizar la información.

País	Índice		Análisis rangos de evaluación	Análisis	Ventajas	Desventajas	Disponibilidad información	Aplicabilidad	Observaciones
	Vulnerabilidad ante las sequias	Grado de	En términos de planeación y prevención la evaluación de la vulnerabilidad ante las sequias este se considera como un índice pertinente, presenta una variación con respecto a los rangos de evaluación pues considera valores máximos y mínimos dentro de cada categoría.	El grado de exposición pretende determinar la cantidad de agua disponible a futuro garantizando una oferta sustentable	Análisis a futuro garantizando una oferta sustentable	considera pocas variables	Se hace un estudio prospectivo con respecto a los datos actuales disponibles	aplicable y útil a gran escala donde el nivel de detalle requerido no es muy amplio y los valores de cada variable no afectan el resultado final	más significativo a gran escala
		Sensibilidad		Desde una perspectiva general evaluar la sensibilidad de la población ante un fenómeno extremo como la sequias es decir que tan significativo seria la afectación y con qué aspectos cuentan para sobrellevarla	brinda herramientas de prevención	considera pocas variables para el concepto que se desea analizar	Información de fácil obtención a partir de fuentes oficiales y visitas de campo embargo demanda grandes recursos para su atención		NA
		Capacidad de		En términos de adaptación se consideran los reservorios subterráneos de agua como única fuente de suministro y como única técnica de adaptación ante un fenómeno de sequía.	evalúa los dos extremos tanto la sobreexplotación como la sub-explotación de los acuíferos.	Considera la capacidad de adaptación solo en términos de la disponibilidad de agua subterránea	difícil obtención de la información	aplicable solo para zonas que cuentan con acuíferos en buen estado de conservación	

País	Índice	parámetro	Análisis rangos de evaluación	Análisis	Ventajas	Desventajas	Disponibilidad información	Aplicabilidad	Observaciones
Colombia	**Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua**	Índice de Uso del Agua	Los rangos de evaluación son muy amplios, lo que dificulta una mayor aproximación a la realidad del territorio, por lo cual se considera que estos rangos tienen mayor aplicabilidad o se ajustan más a estudios de gran escala, en donde la demanda y la oferta presentan valores altos y significativos que guardan una correspondencia.	El parámetro incluye los consumos de los sectores más representativos del territorio. Sin embargo, se descartan la demanda por hidroeléctricas y para riego siendo un dato significativo al momento de hacer un inventario a gran escala.	Las variables consideradas en el cálculo reflejan en gran medida el consumo de territorios con condiciones diversas de ocupación y actividad económica.	No se cuenta con una captura de información continua y detallada.	La información requerida no se encuentra a pequeña escala, lo que dificulta la obtención de la misma de fuentes confiables; sin embargo, se puede obtener la información con diversos métodos.	Loa parámetro son aplicables a pequeña y gran escala en la medida en que la captura de información se realice de tal manera que la estimación del cálculo sea lo más aproximado a la realidad del territorio.	El IUA relaciona de una manera acertada la correspondencia entre demanda y oferta lo que constituye de gran importancia disponer con información detallada y continua de las variables que componen cada parámetro.
				La oferta neta representa el total de agua superficial menos el caudal ambiental, lo que nos indica que se garantiza el volumen de agua mínimo requerido para que el sistema hídrico siga funcionando y para efectos de uso se considera el restante de la operación.	Se establece la oferta neta considerando solo las fuentes superficiales de agua, lo que garantiza que las aguas subterráneas son considerar reservas que pueden utilizarse como fuentes de abastecimiento para futuros periodos de escasez.				
		Índice de Retención y Regulación Hídrica	Las categorías establecidas en la matriz de valoración comprenden rangos uniformes,	El índice relaciona los caudales medios y diarios para lo cual se hace necesario registrar la información de	Se destaca que el índice se compone de los datos de caudales siendo esta variable lo que de una forma u otra	El índice solo considera los datos de caudales y no le da mayor	Por la calidad y el tipo de información que se requiere se hace necesario	El índice es aplicable a estudios realizados a gran escala	El método de cálculo es limitado para ser aplicado a nivel micro regional por la dificultad para

País	Índice	parámetro	Análisis rangos de evaluación	Análisis	Ventajas	Desventajas	Disponibilidad información	Aplicabilidad	Observaciones
			distribuidos en 5 categorías que van de 0 a 1.	estaciones ubicadas en el área de estudio lo que a su vez limita el acceso a información secundaria; las variables utilizadas en el cálculo no se consideran suficientes para la estimación del índice.	permite que el sistema hídrico se mantenga funcionando adecuadamente.	relevancia en su cálculo a las coberturas naturales y el suelo siendo estos factores determinantes para efectos de la retención hídrica.	contar con estaciones limnigráficas ubicadas directamente en el área de estudio lo que dificulta o limita la obtención de información de fuentes secundarias.	debido a que las estaciones que capturan la información requerida se ubican en afluentes y/o cuencas de gran importancia nacional.	capturar la información, por lo que se recomienda considerar otras variables de peso como las coberturas naturales y el suelo.
		Índice de Vulnerabilidad por Disponibilidad	La matriz de relación de rangos define 5 categorías de carácter cualitativos	N/A	La matriz de relación de carácter cualitativo facilita la evaluación de los datos.	N/A	N/A	N/A	NA

País	Índice	Parámetros	Análisis rangos de evaluación	Análisis	Ventajas	Desventajas	Disponibilidad información	Aplicabilidad	Observaciones
Chile	Vulnerabilidad a la sequia	Vulnerabilidad del componente Ambiental	La asignación de rangos para este e índice está directamente relacionado con la humedad aprovechable en el suelo	Este índice relaciona la evapotranspiración con respecto a la precipitación, pero considera la intensidad de la sequía para los tres meses más calidad del año	Considera los periodos secos del año algo que influye significativamente en el déficit hídrico	Está diseñado para ser aplicado únicamente en las condiciones en las que fu formulado principalmente por la influencia del mar	Toda la información está disponible a partir de estaciones climatológicas, pero se limita a la disponibilidad o presencia de ellas.	Adaptable otras condiciones	Aunque el método en su totalidad es complejo de adaptar varias de sus características se consideran adaptables
				El índice de retención de humedad está estrechamente relacionado con la posibilidad de agua para uso agrícola y hace referencia a la capacidad de retención de humedad del suelo	Evalúa la capacidad que tienen los diferentes tipos de suelo para retener la humedad luego de un evento de precipitación	No considera la variación en la capacidad de retención de acuerdo con la cobertura del suelo	Se requiere información detallada de los suelos	Fácil aplicabilidad siempre y cuando la información esté disponible algo que no es muy frecuente a nivel micro regional.	
		Vulnerabilidad del componente productivo	Un análisis por componentes facilito análisis sectorizado de las condiciones del área de estudio evidenciado las debilidades y fortalezas de cada uno.	Este índice solo aplica para zonas de riego	Se considera una caracterización detallada para las zonas de riego	Se dificultaría el uso de este método para zonas de riego no permanente	Factible únicamente para áreas con un sistema de medición de caudales		se sugiere realizar adaptaciones para zonas con riego ocasional ya que estos también implican una demanda del recurso y un requerimiento importante del mismo.
	Vulnerabilidad a la sequia			Corresponde a un parámetro novedoso ya que no hace parte de un índice como en otros casos por el contrario	Permite evaluar de manera acertada la influencia que tiene la distribución de los	por la calidad, necesidad de actualización constante y el nivel de detalle requerido se considera aplicable a nivel micro regional, pero de difícil aplicación en grandes extensiones			Este parámetro representa gran flexibilidad para la formulación de adaptaciones.

País	Índice	Parámetros	Análisis rangos de evaluación	Análisis	Ventajas	Desventajas	Disponibilidad información	Aplicabilidad	Observaciones
				es un parámetro independiente y de gran peso en la estimación de la vulnerabilidad hídrica	cultivos en el área de estudio				
				El parámetro considera para el componente productivo las capacidades de pequeños y grandes productores para la adopción de tecnologías esto como la capacidad de adaptación a condiciones de vulnerabilidad	El método evalúa la necesidad verdadera de la implementación de tecnologías y pretende garantizar su sostenibilidad	se considera en cierta medida segadora con pequeños productores	factible de aplicación a pequeña escala		El parámetro se considera factible de adaptación sin embargo proporciona información para un análisis prospectivo más que de las condiciones actuales del área de estudio.
		Vulnerabilidad del componente socio económico		Refleja las condiciones de la población con respecto al acceso del recurso y la vulnerabilidad situaciones de sequía	Es un parámetro que permite comparar diferentes condiciones de la población para facilitar un análisis y planeamiento de medidas de mitigación.	Se considera difícil la espacializaión de este tipo e información de tal forma que pueda ser visible y manejable	Disponible mediante información censal	se puede aplicar para cualquier tipo de condición mientras se cuente con la información necesaria	Aplicable para un análisis de población en condiciones especiales más para que para un análisis generalizado
				Analiza la dependencia de la población a sistema agrícola como única fuente de sostenimiento	Considera un sector de la población con alta vulnerabilidad a situaciones de sequias. Permite considerar medidas de contingencia.	Aborda solo un pequeño grupo de la población potencialmente afectable	Factible de obtención	Fácil aplicabilidad	La vulnerabilidad ante la sequía es un aspecto que afecta a todo tipo de población por consiguiente

Fuente: Autores, 2016

4.2. FORMULACIÓN DE ADAPTACIONES AL MÉTODO DE CÁLCULO

De acuerdo a la revisión de información de las diferentes metodologías utilizadas en los países tomados como referencia y a partir de la metodología formulada por el IDEAM se propone una serie de adaptaciones que se consideran idóneas para las condiciones locales (Ver tabla 8), dentro de los aspectos más sobresalientes en la mayoría de casos y que se consideran fundamentales para la formulación de adaptaciones se encuentran:

1**. Realizar una valoración cualitativa- cuantitativa de las variables consideradas**: Para valorar la información multidimensional proporcionando elementos cualitativos y cuantitativos del grado de fragilidad del sistema hídrico en las diferentes fuentes de abastecimiento; considerando la oferta neta, los usos consuntivos, la capacidad de regulación hídrica y el sistema de abastecimiento externo y la percepción de actores territoriales que contribuyan a la evaluación de la disponibilidad del recurso para el estudio de la microcuenca.

2. **Evaluar y comparar las variables mediante una matriz de decisión**: Mediante matrices de relación de rangos de índices se definen las categorías de vulnerabilidad por disponibilidad de agua, la definición de los rangos dependerá de los subíndices o parámetros definidos para su determinación.

3. **Espacializar la información mediante cartografía:** La integración cartográfica de los componentes ambiental, productivo y socioeconómico da lugar a la propuesta de un mapa de vulnerabilidad por disponibilidad de agua para la microcuenca, todos los demás parámetros se integran en la cartografía que representa la vulnerabilidad del territorio.

Tabla 8: Matriz de adaptaciones

País	Índice	Componentes	Subcomponentes	Variables a adaptar	Adaptaciones
Nicaragua	Índice de escasez	Oferta hídrica	Potencia (sumatoria de aguas subterráneas y superficiales)	Oferta hídrica	Se considera para el cálculo la sumatoria del volumen de aguas tanto superficial como subterránea
		Afectación al potencial	reducción del volumen disponible	Oferta hídrica	debe considerarse una disminución del caudal
México	Vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras	Vulnerabilidad de la infraestructura	Capacidad, estado y exposición a daños	Oferta hídrica	En términos de abastecimiento debe ser considerado la infraestructura, para la adaptación solo se considerará la red de distribución.
	Vulnerabilidad Ambiental	Degradación ambiental	Fuentes de contaminación, erosión, cambios de uso del suelo etc.	Vulnerabilidad ambiental	La degradación del entorno es crucial al considerar la vulnerabilidad para la formulación de adaptaciones será considera para toda el área hidrográfica
Chile	Vulnerabilidad ante las sequias	Capacidad de adaptación	Grado de explotación de acuíferos	Índice de uso de agua (acuíferos libres)	En condiciones severa de disminución de oferta los acuíferos representan la única fuente de suministro, se evalúa los dos extremos tanto la sobreexplotación como la sub-explotación de los acuíferos.
	Vulnerabilidad ante las sequias	Índice global de aridez	Periodo seco	Oferta hídrica	Considera periodo seco como parámetro critico ante la vulnerabilidad
		Índice de retención de humedad	Capacidad de retención de humedad suelo	Oferta hídrica	A mayor capacidad de retención de humedad del suelo mayor será el tiempo de oferta hídrica
		Componente productivo	Diversidad productiva	Demanda hídrica	Variación de cultivos y otros usos consuntivos, todos los parámetros se integran en la cartografía que representa la vulnerabilidad de un territorio.
		Componente Socio-económico	Indicador de dependencia del agro	Demanda hídrica	Evalúa los riesgos sociales de dependencia del recurso para las necesidades básicas principalmente en temas agrícolas.

Fuente: Autores, 2016

4.2.1 Aproximación metodológica para la estimación del índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua a partir del enfoque micro regional en una microcuenca

De acuerdo a la naturaleza de los parámetros que componen el índice, su adaptabilidad, acceso a la información y su aplicación se formulan adaptaciones a la metodología propuesta por el IDEAM y otras fuentes oficiales, se propone una metodología que pretende medir de una manera más acertada la realidad del recurso hídrico en una micro-región.

El índice mide el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta de abastecimiento de agua, brindando elementos cualitativos del grado de fragilidad del sistema hídrico con respecto al abastecimiento y la amenaza de sequía cuando se presentan condiciones hidroclimaticas secas. Se evalúa en términos de seguridad respecto a la disponibilidad de agua en las fuentes, para el cálculo principalmente se tiene en cuenta el uso del agua en donde se relaciona demanda y oferta neta, y las condiciones de capacidad de regulación hídrica del área hidrográfica.

Corresponde a un Índice compuesto que se determina relacionando 2 índices:

1. **Índice de Uso:** Cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzonas, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales.

Método de Cálculo: Relación porcentual de la demanda de agua en relación a la oferta hídrica disponible.

$$IUA = (Dh / Oh) * 100$$

Donde:

- Dh = Σ demanda hídrica sectorial
- Oh = oferta hídrica superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental.

Calculo demanda hídrica: Dh = *Σ* (volumen de agua extraída para usos sectoriales en un periodo determinado)

Donde:

Dh = Ch+Csa+Css+Csi+Dp+Aenc
Dh = Demanda hídrica
Ch = Consumo humano o domestico
Csa = Consumo del sector agrícola
Css = Consumo sector servicios
Csi = Consumo sector industrial
Dp = Demanda pecuaria
Aenc = Agua extraída no consumida

- Demanda uso de agua sector domestico

Para determinar la demanda de uso de agua para el sector doméstico se emplearon métodos de recolección de la información de acuerdo al sistema de captación del líquido, estimando el consumo de los habitantes para el desarrollo de sus acitivdades diarias expresada en (L/hab-día) adoptado de la metodología del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

Se calculó la demanda para el sector clasificando los propietarios por sistemas de abastecimiento (acueducto o manantial), tipo de vivienda para conocer la dinámica de permanencia, número de personas por vivienda que se abastecen, consumo promedio al mes y al año.

a) Captación de Acueductos veredales Guane - Santa Teresa y Acualimonal: Los acueductos suministraron la información de consumo mensual registrada con micro medidores instalados en los predios de los propietarios y/o usuarios para el año de estudio y se calculó el consumo promedio por L/hab-dia.

b) Captación de afloramientos naturales: Este proceso de captación se realiza mediante una red de distribución con mangueras de ½ pulgada y almacenada en tanques de 250 a 2000 Lt y no cuenta con medidores de consumo. Para estimar el consumo se elaboró un formato de registro semanal de la cantidad de agua consumida de acuerdo a la capacidad de almacenamiento de los tanques instalados en los predios, a cada propietario y/o usuario se le suministro doce (12) formatos para ser diligenciados en los meses del año de estudio; con la información suministrada se estimó el consumo promedio por L/hab-dia.

- Demanda uso de agua sector industrial

En la caracterización del territorio se identificó como actividad industrial la trasformación de la caña panelera en panela para comercializar, para el desarrollo de esta actividad el agua es suministrada por tanques de almacenamiento cuya captación se hace de afloramientos naturales a través de la red de mangueras de ½ pulgada y no se cuenta con registros de consumo, por lo anterior la información se recolecto diligenciando formatos de registro semanal de la cantidad de agua consumida en cada molienda, medida que se implementó en dos (2) predios en donde se realizan moliendas semanales.

- Demanda uso de agua sector agrícola

Se estimó la demanda de agua para las coberturas vegetales presentes en la zona clasificadas en: cultivos permanentes y semipermanentes (usos consultivos) y coberturas vegetales. Para esta estimación se calculó el valor de la evapotranspiración ETR considerada el mismo fenómeno físico del uso consultivo, la cual se define como la perdida de agua del conjunto suelo y plantas en condiciones hidroclimaticas propias del área; sin embargo el valor de la ETR es muy difícil de calcular y por sí solo no determina el consumo de agua por cultivo, para esto se debe hallar la evapotranspiración potencial ETP que no es más que la ETR corregida con el factor de cultivo Kc que depende de la humedad del suelo y de las características de la planta (Rovira, 1976).

Cálculo uso consultivo

La siguiente ecuación expresa el valor del uso consultivo

$$UC = ETR = ETP * Kc$$

Donde:

UC = Uso consuntivo, cuyo valor es igual a la evapotranspiración real (mm/día)
Kc = Factor de uso consuntivo (adimensional), determinado para cada cultivo.
ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día)

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial ETP se consideran dos (2) metodologías:

a) Método Thornthwaite y Wilm: Se trata de una ecuación empírica para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual de una superficie de referencia cubierta de césped, con base en la temperatura media mensual. El método fue desarrollado utilizando lecturas de lisímetros y balances hídricos realizados en cuencas pequeñas de diferentes zonas de Estados Unidos. Thornthwaite asegura que su método no es preciso en zonas áridas pues emplea la temperatura en lugar de la radiación neta, que tiene una relación física más directa con la evapotranspiración potencial. La ecuación se presenta a continuación:

$$ETP_i = K_i 16 \left(\frac{10T_i}{J}\right)^a \qquad [mm/mes]$$

Donde:

Ti = Temperatura media mensual del aire para el mes i (°C). Se deben excluir los valores negativos de temperatura.
Ki = Factor de corrección mensual que depende de la latitud. Se aplica debido a que el método fue desarrollado suponiendo un mes de 30 días con 12 horas de luz solar diarias.

El índice de calor anual J se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce meses, así:

$$J = \sum_{i=1}^{12} (J_i) \qquad \text{donde } J_i \text{ es un valor mensual definido así:} \qquad J_i = \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514}$$

El exponente (a) es función del índice de calor anual y está definido por la siguiente expresión:

$$a = 0.49239 + 0.01792 \cdot J - 7.71x10^{-5} \cdot J^2 + 6.75x10^{-7} J^3$$

b) Método Blaney y Criddle: Es conocido también como FAO-24 Blaney – Criddle y se basó en estudios realizados en la zona del oeste de Estados Unidos y otros países, en los que se buscaba la correlación entre el agua consumida por las plantas, la temperatura y las horas de luz al día. El método original, desarrollado en 1942 por Blaney y Morin, fue modificado por Blaney y Criddle en 1945, 1950 y 1962, y finalmente reformado por Doorenbos y Pruitt en 1977. La ecuación se presenta a continuación:

$$ETP = P(0.46*T+8.13)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día)
T = Promedio de temperatura diaria para el periodo definido (°C)
P = Porcentaje de horas diarias de luz o insolación en la zona (%)

El factor de uso consuntivo Kc (adimensional), para las coberturas vegetales se presenta en la tabla.

Se calculó el valor de la demanda por coberturas el cual se expresó en mm/día de acuerdo a las unidades de las variables usadas, se determinó la demanda en m^3/unidad de área de cada cobertura y se expresa en m^3/año para cada área.

- Demanda uso de agua sector pecuario

La demanda del sector pecuario se determinó aplicando la fórmula propuesta por el IDEAM en donde se definen módulos de consumos por (L/cabeza-día) para las diferentes fases de la cadena productiva para los animales incorporados al estudio (ganado bovino, porcinos y ave). La ecuación se presenta a continuación:

$$Dp= Cv+Cs+Cua$$

Donde:

Dp = Demanda pecuaria (L/mes)
Cv =Consumo Vital en la fase de cría, levante y terminación (L/mes)
Cs =Consumo en sacrificio (L/mes)
Cua = Consumo en lugares de manejo y alojamiento del animal (m^3/mes)

Para aplicar la ecuación se identificaron las unidades de animales, el grupo etario, propósito productivo y consumo de agua por (m^3/mes) para cada uno de los predios.

La microcuenca cuenta con actividad acuícola para la cual se estimó la demanda de agua para seis (6) lagos ubicados en diferentes predios, se determinó el área, la profundidad y el volumen del estanque cuya información fue suministrada por los propietarios de cada predio y se midió el caudal de entrada con aforo volumétrico.

Calculo oferta hídrica: Oh= Ohtotal– OQamb

Donde:

Ohtotal = Es el volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada
OQamb = Es el volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total.

El cálculo de la oferta hídrica natural disponible se realiza para condiciones hidrológicas medias y secas con base en las series de caudales medios mensuales y anuales. Las condiciones secas corresponden al año típico seco, construido a partir de los caudales mínimos de las series de los caudales medios mensuales.

Requerimientos de información: Series históricas de caudales diarios y mensuales con longitud temporal mayor de 15 años. Información de demanda sectorial para los diferentes usos.

Periodicidad en la actualización: El indicador se actualiza cada cuatro años.

La oferta hídrica de una cuenca, es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. De acuerdo con el estudio de caso de Nicaragua en la medición de la oferta neta se adapta la sumatoria de aguas subterráneas y superficiales para lo que se considera la presencia de acuíferos libres freáticos, sin embargo, al considerar que todos afloran en los cauces de la Quebrada negra se propone hacer mediciones a lo largo del cauce de la quebrada.

Para los efectos de calcular la oferta hídrica en una cuenca hidrográfica se tomó como base la resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, lo anterior considerando que para el cálculo de la oferta hídrica se aplicará según cada caso una de las siguientes metodologías de acuerdo con la información disponible y características físicas de la cuenca:

a) Balance hídrico: Para cuencas hidrográficas con un registro de las variables climatológicas e hidrológicas mayor de 10 años, situación está que permite estimar la oferta hídrica media anual. Esta metodología se aplica en cuencas instrumentadas y con un área de drenaje mayor (más de 250 km²);

b) Caudal medio puntual en las corrientes de interés: Cuando los registros de caudal generan series cortas y no confiables (series anuales menores de dos años);

c) Relación lluvia-escorrentía: Aplicable en cuencas menores, es decir cuyas áreas de drenaje sean inferiores a 250 km², cuencas no instrumentadas y en consecuencia no cuentan con registros de caudal para la estimación de la oferta superficial mensual.

Para efectos de esta investigación considerando la disponibilidad y pertinencia de la información obtenida se considera pertinente la opción (b) caudal medio puntual, a partir de este método se realizan las siguientes adaptaciones metodológicas.

Caudal medio puntual: 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). La caracterización de la corriente implica conocer los caudales máximos, mínimos y medios registrados. El caudal medio se define como:

Donde:

$$Q = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Q_i$$

Q = Es el caudal medio (m3 /s)
Qi = Caudal medido en el período de estudio
n = Número total de datos de caudal

La caracterización hidrológica de una corriente implica el conocimiento del comportamiento promedio de los caudales tanto espacial como temporalmente, así como la determinación de períodos de estiaje y de inundaciones. Debido a la deficiencia de información y ausencia de estaciones limnigráficas en el área de estudio se programó una serie de mediciones para cinco (5) meses del año 2015.

Definición de métodos de medición: de acuerdo con el protocolo para el monitoreo y seguimiento de agua elaborado por el IDEAM se evaluó la eficacia y aplicabilidad de los métodos aprobados para realizar mediciones de caudales en un cauce, seleccionando el método de ***aforo área-velocidad;*** dado que el caudal es función del área de la sección y

la velocidad media del flujo, este procedimiento se basa en la determinación de estas variables. Este sistema de aforo es el de mayor uso y requiere que el flujo tenga un comportamiento laminar y que las líneas de flujo sean normales a la sección transversal de aforo. La precisión de las mediciones del caudal depende en gran medida del número de verticales que se tomen para la ejecución de las mediciones para el aforo, profundidad y velocidad. (IDEAM, 2007). (Ver Aforo Método de flotadores febrero de 2015, condiciones hidrológicas secas).

A continuación, se explica la aplicación del método:

- Numero de secciones verticales: Las abscisas de observación se deben definir de modo que se pueda precisar la variación de la configuración del lecho de la corriente y la variación vertical y horizontal de la velocidad y la uniformidad del fondo del cauce. Se determinó de acuerdo a la longitud trasversal del cauce o ancho parcial (entre 0,5 y 2 m) y la profundidad del mismo, se seleccionaron secciones entre 3 y 6 para cada punto de aforo.

- Cálculo del área parcial y total: El área de una sección parcial corresponde a la superficie de cada tramo en que se ha dividido el cauce y se encuentra multiplicando la profundidad media por el ancho total. Ap. = Pmedia * ap. El área total de la sección de aforos se obtiene sumando las áreas de las secciones parciales.

- Profundidad: Para cada sección trasversal se midió la profundidad en cm.

- Velocidad puntual del agua: Método de aforo con flotadores; en casos especiales se requiere medir en forma rápida el caudal en una corriente que presenta una lámina de agua pequeña (pocos centímetros), entonces se recurre a la medición de la velocidad superficial a lo ancho del cauce, utilizando flotadores apropiados para el caso (IDEAM, 2007).

  El caudal se obtiene por la relación entre el volumen recolectado (V) y el tiempo correspondiente (T) con la siguiente fórmula Q = A*V

  Donde:

  A = Área de la sección transversal
  V = Velocidad promedio del agua.

Definición de número de muestras: Se evaluó la distribución temporal de las lluvias para la cuenca a la que pertenece la microcuenca Quebrada negra se determinó como número total de muestra de cinco (5) distribuidos durante todo el año así:

Tabla 9: Mediación de caudales en la microcuenca Quebrada Negra

	Periodo	Fecha de medición caudal
Secas	Diciembre a febrero	19 de diciembre del 2015
		14 de febrero del 2015
	Junio a septiembre	26 de julio del 2015
Húmedas	Marzo-abril	19 de abril del 2015
	Octubre a diciembre	23 de octubre del 2015

Fuente: Autores,2016

Puntos de medición de caudal: Se seleccionaron cuatro (4) puntos para la medición de caudal esto considerando la cobertura total del cauce y las características de pendientes y aportes al cauce principal por parte de sus afluentes y de acuíferos libres freáticos.

Cuantificación de la oferta hídrica neta disponible: Para obtener la oferta hídrica neta disponible, se procede a reducir la oferta hídrica total, es decir reducir la oferta hídrica total por calidad del agua y por caudal mínimo ecológico. Para esta investigación no se realizó reducción del caudal por calidad ya que al agua para uso doméstico es captada directamente de afloramientos subterráneo o manantiales donde el agua no ha sido contaminada.

Reducción por caudal ecológico: El 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. De acuerdo a la consulta bibliográfica se adoptó el concepto de reducir un porcentaje de la oferta hídrica para conservar el caudal ecológico del caso de Nicaragua, se consultaron metodologías propuestas para su estimación, para este caso se seleccionó el método de porcentaje de descuento adoptado por el IDEAM.

- Porcentaje de Descuento: El caudal ambiental es definido como el volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas debajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

  Las metodologías basadas en métodos hidrológicos, hidráulicos, de hábitat y holísticos (Tharme, 2003); sin embargo, la metodología propuesta por el IDEAM (2010), se basa en los valores de regulación hídrica:

Tabla 10: Relación regulación hídrica - caudal ambiental

Índice de Regulación Hídrica	% Descuento caudal Ambiental
Muy baja y baja	Q_{tatal}- Q_{85} = 15% Descuento
Muy alta, alta y moderada	Q_{tatal}- Q_{75} = 25% Descuento

Fuente: Autores,2016

- 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 calculada. (Resolución 865 de 2004).

Para el cálculo de la oferta hídrica se adoptó el concepto del estudio de caso de Chile en donde se considera el periodo seco como un parámetro critico ante la vulnerabilidad, lo que hace referencia a condiciones hidro-climáticas extremas como el caso del año más seco de la serie histórica teniendo en cuenta las variaciones mensuales durante el año. De igual manera para el área de estudio se presentan periodos secos por variaciones hidro-climáticas lo que hace de este parámetro determinante en la estimación de la vulnerabilidad por disponibilidad de agua.

Por lo anterior la oferta hídrica neta para condiciones hidrológicas secas en la microcuenca de estudio se obtuvo mediante una proporción entre el caudal medio y el caudal mínimo estimado. (Adaptado, ENA 2014).

2. Índice de Retención y Regulación Hídrica:

Para el cálculo de la regulación hídrica se realizaron adaptaciones a dos metodologías propuesta.

En el caso de Colombia este parámetro se estima IRH a partir de la información suministrada por las estaciones hidrológicas y se genera una representación espacial del indicador para determinar las subzonas en condiciones de mayor y menor capacidad de retener y regular el agua; mide la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales. Se calcula a partir de la curva de duración de caudales medios diarios (IDEAM, 2014) según la siguiente ecuación y se evalúa con cinco rangos de valoración.

$$IRH = VP/V_{t\ Ec\ (xx)}$$

Donde:

Vp = Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.
V_t = Volumen total representado por el área bajo la curva.

Tabla 11: Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

IRH	Calificación cualitativa	Descripción
> 0,85	Muy alta	Muy Alta retención y regulación de humedad
0,75 - 0,85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0,65 - 0,75	Moderada	Media retención y regulación de humedad
0,5 - 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< 0,5	Muy baja	Muy Baja retención y regulación de humedad

Fuente: IDEAM 2014

Para este análisis se adapta la matriz de los rangos de valoración de carácter cualitativo.

Vasados en la metodología de cálculo en el estudio de caso de Chile en donde para determinar la vulnerabilidad del componente ambiental se considera el índice de retención de humedad que hace referencia a la capacidad de humedad del suelo y evalúa la capacidad que tienen los diferentes tipos de suelo para detener la humedad luego de un evento de precipitacion, se formulan los siguientes parámetros:

- Para perfil estratigráfico del suelo: Régimen de humedad, régimen climático, drenaje interno, textura, estructura, consistencia, porosidad, naturaleza de la fracción de arcilla y la profundidad total.

- Para la formación superficial: Relieve, pendiente terreno, textura y drenaje.

- Para las coberturas vegetales: Se considera para este cálculo todo tipo de coberturas no solo las naturales, se valoró para ello el mapa de uso actual de suelo y cobertura natural considerando las siguientes condiciones:

a) A mayor capacidad radicular mayor capacidad de retención.

b) Los suelos descubiertos o sin cobertura vegetal tienen una muy baja capacidad de retención y regulación hídrica debido a que el nivel de evaporación del suelo aumenta, la escorrentía superficial aumenta, las gotas de agua impactan y afectan la estructura del suelo.

c) El contacto físico entre la cobertura protectora y la superficie del suelo disminuye significativamente la escorrentía y da más tiempo para la infiltración.

d) Los suelos con vegetación natural generalmente tienen gran porosidad debido a la alta actividad biológica y a la ausencia de interferencias con el hombre. Por consiguiente, tienen cualidades físicas superiores a la mayoría de los suelos usados para cultivos o pastos.

e) Las coberturas permanentes tienen mejor capacidad de regulación que las transitorias pues se evita el impacto por degradación el suelo y el despeje del terreno.

f) La vegetación que aporta más materia orgánica al suelo tiene mejor capacidad de regulación hídrica debido a que puede construir una estructura superficial e interna más fuerte en el perfil del suelo para una condición que permita la fácil entrada del agua (agua de infiltración) y su almacenamiento (agua de retención) en forma disponible para la planta. Además, puede ser la protección contra el sellado de la superficie por las gotas.

Finalmente se correlaciona la información del perfil geo pedológico y de la cobertura vegetal mediante matrices de decisión y la especialización de la información.

Tabla 12: Matriz de decisión para la regulación hídrica

RH Suelo	**RH Cobertura**				
	Muy Alta	Alta	Moderada	Baja	Muy Baja
Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Moderada	Moderada
Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
Moderada	Alta	Modera	Moderada	Baja	Baja
Baja	Moderada	Modera	Baja	Baja	Muy Baja
Muy Baja	Moderada	Modera	Baja	Muy Baja	Muy Baja

Fuente: Autores,2016

A partir de la cartografía de suelos y la información proporcionada por el estudio se realizó la valoración cualitativa para cada característica de las asociaciones de suelos presentes en la microcuenca. Al finalizar se hizo un promedio para obtener una valoración generalizada para las asociaciones de suelos.

Tabla 13: Evaluación cualitativa de asociaciones de suelos

Factor	Característica	Descripción	Valoración
Clasificación suelo			
Régimen Climático			
Formación superficial	Textura		
	Relieve		
	Pendiente		
	Drenaje		
Suelo, perfil geo-pedológico	Drenaje		
	Textura		
	Estructura		
	Consistencia		
	Porosidad		
	Naturaleza Fracción de arcilla		
	Profundidad		
Promedio			

Fuente: Autores,2016

- Capacidad de retención y regulación hídrica del suelo: Se asignó la categoría de valoración a cada asociación y se espacializó la Información.

Tabla 14: Categorías para la capacidad de retención y regulación hídrica del suelo

Asociaciones de suelos, categorías para la regulación hídrica		
Asociación	**Valoración**	**Categoría**
	5	Muy alto
	4	Alta
	3	Moderada
	1	Baja
	0	Muy baja

Fuente: Autores,2016

- Capacidad de retención y regulación hídrica de las coberturas vegetales: Se evaluó cada una de las coberturas vegetales mapificadas para la cuenca y se le asignó una valoración cualitativa de acuerdo a sus

características, se procede a realizar la espacialización de la información. (Ver anexo, Mapa 12 Capacidad de retención y regulación hídrica de las coberturas vegetales).

Finalmente se aplicó la matriz de relación para la vulnerabilidad por disponibilidad de agua

Tabla 15: Matriz de relación Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua

Calificación cualitativa	Índice de Vulnerabilidad por Disponibilidad de agua - IVDA			
	IRH - Alto	IRH -Moderado	IRH - Bajo	IRH - Muy bajo
IUA - Muy Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA -Alta	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA - Moderado	Medio	Medio	Alto	Alto
IUA -Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
IUA -Muy Bajo	Muy Baja	Bajo	Medio	Medio

Fuente: Autores, 2016

4.2.2 Resumen del método de calculo

El índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua se termina a través de una matriz de relación entre categorías de índice de uso de agua y el índice de regulación hídrica.

Construcción de la ecuación de caculo.

1. Índice de uso de agua

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

Cálculo de la demanda:

$$IUA: = [\,(Ch+Csa+Csi+Css+Dp+Aenc\,)\,/\,Oh] * 100$$

Como:

- Csa = UC
- UC = ETR =ETP * Kc
- $ETPi = Ki16\left(\frac{10Ti}{J}\right)^{a}\ [mm/mes]$
- $J = \sum_{i=1}^{12}(Ji)\ \ donde\ Ji\ es\ un\ valor\ mensual\ definido\ por:\ Ji = \left(\frac{Ti}{5}\right)^{1.514}$
- $a = 0.49239 + 0.01729 * J - 7.71 * 10\ e - 5 * J2 + 6.75e - 7 * J3$

Entonces:

*IUA: = [(Ch+Csa+Csi+Css+Dp + Aenc +(ETP*Kc)) / Oh] * 100*

Como:

- *Dp= Cv+Cs+Cua*

Entonces:
*IUA: = [(Ch+Csa+Csi+Css+Dp +(Cv+Cs+Cua) + Aenc +(ETP*Kc))/ Oh] * 100*

Cálculo de la oferta:

- *Oh= Ohtotal– OQamb*
- $Q = \frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Qi$

Reducción de la oferta

- *Qtotal- Q75 = 25% Descuento*

Entonces:

- $\text{IUA} = \frac{[Ch+Csa+Csi+Css+(Cv+Cs+Cua)+Aenc+(ETP*Kc)\,]}{(Ohtotal-OQamb)} * 100$

Como:

$$Q = \frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Qil$$

$$\text{IUA} = \frac{[Ch + Csa + Csi + Css + (Cv + Cs + Cua) + Aenc + (ETP * Kc)]}{[(\frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Qil - (Qtotal - Q75)]} * 100$$

$$\text{IUA} = \frac{[Ch + Csa + Csi + Css + (Cv + Cs + Cua) + (ETP * Kc) + Aenc]}{Q = \frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Qi - \ (\text{Qtatal} - \ \text{Q75})]} * 100$$

Donde:

- IUA: índice de uso de agua
- Dh = Σ demanda hídrica sectorial
- Oh = oferta hídrica superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental.

- UC = Uso consuntivo, cuyo valor es igual a la evapotranspiración real (mm/día)
- Kc = Factor de uso consuntivo (adimensional), determinado para cada cultivo.
- ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día)
- ETP = Evapotranspiración real (mm/día)
- Ti = Temperatura media mensual del aire para el mes i (°C). Se deben excluir los valores negativos de temperatura.
- Ki = Factor de corrección mensual que depende de la latitud. Se aplica debido a que el método fue desarrollado suponiendo un mes de 30 días con 12 horas de luz solar diarias. Para determinar el valor de Ki.
- El índice de calor anual J se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce meses
- El exponente (a) es función del índice de calor anual
- Csa = Consumo del sector agrícola (L/min)
- Css = Consumo sector servicios (L/min)
- Csi = Consumo sector industrial (L/min)
- Ch = Consumo humano (L/min)
- Dp = Demanda pecuaria (L/min)
- Aenc = Agua extraída no consumida (L/min)
- Cv =Consumo Vital en la fase de cría, levantey terminación (L/min)
- Cs =Consumo en sacrificio (L/min)
- Cua = Consumo en lugares de manejo y alojamiento del animal (L/min)
- Q = Es el caudal medio (L/min)
- Qi = Caudal medido en el período de estudio (L/min)
- Qamb = Caudal ambiental (L/min)
- n = Número total de datos de caudal

2.*Cálculo de la regulación hídrica*

Se evalúa cualitativamente la capacidad de regulación de agua por la cobertura vegetal, el perfil de suelo y la formación superficial a través de la siguiente expresión.

$$IRH = (Crs\ ; Crcv)$$

$$Crs = \bar{x} = \frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Crsi$$

$$Crcvi = \bar{x} = \frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Cicv$$

$$Crsi: [Fs(Cs;Rc;Tx;Rel;Pend;Dren);\ PGs(Dren;Tx;\ Ex;Cons;\ Por;\ FArc;\ Prof]$$

Donde:

- Fs = Formación superficial
- Cs = Clasificación del suelo

- ❖ Rc = Régimen climático
- ❖ Tx = textura
- ❖ Rel = Relieve
- ❖ Pend = Pendiente
- ❖ Dren = Drenaje
- ❖ PGs = Perfil geopedologico del suelo
- ❖ Ex = Estructura
- ❖ Por = Porosidad
- ❖ FArc = Fracción de arcilla
- ❖ Prof = Profundidad
- ❖ Cons = Consistencia

Entonces:

$$IRI = \bar{x}\frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Crs; \bar{x}\frac{1}{n!}\sum_{i=1}^{n} Crcvi$$

Donde:

IRI = Índice de regulación hídrica
Crs = Capacidad de regulación del suelo
Crc = Capacidad de regulación de las coberturas vegetales
Crs_i = Capacidad de regulación de cada factor del suelo
$Crcv_i$ = Capacidad de regulación de cada una de las coberturas vegetales

4.3 VALIDACIÓN DE ADAPTACIONES METODOLÓGICAS

En la construcción de las adaptaciones metodológicas se caracterizó la microcuenca como escenario de trabajo para conocer las dinámicas del medio físico, biótico y socioeconómico como criterios determinantes en los cambios que pueda presentar el territorio.

4.3.1 Caracterización territorial

4.3.1.1 Caracterización del medio Físico

Climatología

El municipio de Sasaima se caracteriza por que gran parte de su territorio se encuentra en posición de montaña al costado occidental de la cordillera oriental lo cual genera dos períodos húmedos y dos secos que se presentan intercalados a lo largo del año con un modelo de lluvias bimodal con valores máximos en abril y noviembre, y mínimos entre los meses de junio a septiembre (PBOT Sasaima, 2012), presenta una temperatura media anual comprendida entre 18 y 24°C y un promedio anual de lluvias de 1000 a 2000 mm.

Para generar la información climatológica que define el área de estudio se utilizó información regional para la cuenca del Rio Negro y la subcuenta del Rio Tobia identificando estaciones climáticas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que tuvieran series históricas mensuales de once (11) años (2003

– 2014); y cercanía espacial al área de influencia. A continuación, se relacionan las estaciones climáticas que se utilizaron para determinar la precipitación.

Tabla 16: Promedio multianual de Precipitacion: estación de referencia

Estación / Mes	Guaduas	San isidro	Venecia	El acomodo	Promedio
Enero	62,36	57,94	40,59	200,71	90,40
Febrero	77,18	119,06	55,57	217,46	117,32
Marzo	124,1	180,75	94,45	177,96	144,31
Abril	196,37	211,81	114,39	261,2	195,94
Mayo	134,68	157,17	110,08	194,77	149,18
Junio	49,7	20,94	49,50	62,71	45,71
Julio	77,3	48,14	36,75	67,06	57,31
Agosto	84,62	74,08	54,67	65,86	69,81
Septiembre	55,05	79,41	44,64	92,85	67,99
Octubre	228,9	252,81	134,14	270,58	221,61
Noviembre	201,71	268,11	141,43	364,55	243,95
Diciembre	76,4	129,15	73,89	223,13	125,64
Sumatoria	1368,37	1599,36	950,09	2198,83	1529,16

Fuente: Autores, 2016

Una vez seleccionadas las estaciones y el periodo de datos a utilizar se analizó la consistencia de los datos faltantes y se procedió a completar la información ausente.

Se tomaron los datos existentes de las estaciones seleccionadas con características climatológicas similares al área de estudio tales como la altura sobre el nivel del mar y precipitación. Una vez completada la serie se realizó una representación gráfica para conocer la precipitación media anual y su distribución espacial, para esto se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGis, Versión 10.2 y el método de isoyetas generando curvas de igual valor por área de influencia.

La microcuenca Quebra Negra presenta una precipitación media anual de 1250 mm, precipitación media máxima de 1300 mm y precipitación media mínima de 1200 mm y una temperatura media anual de 20°C, temperatura media máxima de 22°C y temperatura media mínima de 18°C. (Ver anexo, Mapa 8 Climatológico).

Hidrología

El municipio de Sasaima se ubica en la subcuenta del Río Tobia que cuenta con una extensión de 940.82 km² equivalente al 22.21% de la cuenca hidrográfica de Río Negro que hace parte del área hidrográfica del Río Magdalena. A su vez la micro-cuenca Quebrada Negra se ubica en el noroccidente de la vereda Piluma con un área de 80 Ha y un cauce principal de 1.15 km de longitud que desemboca en la cuenca alta del Río Gualivá. (Ver anexo, Mapa 5 Hídrico).

Imagen 1: Cuenca media del Río Gualivá



Tomado por: (Melo,2016)

Características Morfometricas de la cuenca: El comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica está en función de numerosos factores, entre los cuales predominan el clima y la forma del territorio. Las formas de la superficie terrestre y su relación con el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, pueden establecerse por medio de índices morfométricos; dichos índices, describen las características de paisajes complejos por medio de valores constantes. (CAR, 2011).

El análisis de los factores morfométricos de la microcuenca Quebrada Negra se presentan a continuación:

Tabla 17: Generalidades de la microcuenca Quebrada Negra

Centroide (Colombia_Bogota_Zone)		
X Centroide	M	964481,44
Y Centroide	M	1040458,55
Z Centroide	Msnm	1467,72
Altitud		
Altitud media	Msnm	1467,72
Altitud más frecuente	Msnm	1423,00
Altitud de frecuencia media	Msnm	1460,16

Fuente: Autores,2016

a) Factores de área de la microcuenca

Área de la cuenca (A): Se define como la superficie de la cuenca delimitada por la divisoria de aguas, que contribuye con la escorrentía superficial, la cual afecta las crecidas, flujo mínimo y la corriente media en diferentes modos.

Perímetro de cuenca (P): Corresponde a la línea envolvente del área.

Tabla 18: Factores de área de la microcuenca Quebrada Negra

Parámetro	Und	Valor
Área	Ha	76,81
Perímetro cuenca	Km	3,66
Cotas		
Cota máxima	Msnm	1700
Cota mínima	Msnm	1250

Fuente: Autores,2016

a) Factores de forma de la microcuenca
Caída de la cuenca (Hc): Es la diferencia entre la cota máxima y la mínima.

Longitud de la cuenca (Lc_1): Es la distancia existente entre el nacimiento del río Negro y el punto más lejano de la microcuenca.

Ancho promedio de la cuenca (W): Es la media entre el ancho máximo que corresponde a la parte alta de la microcuenca y el mayor estrechamiento que corresponde a la parte baja.

Factor de forma (Rf): El factor de forma compara el límite de una cuenca normal con un ovoide en forma de pera, se relaciona directamente con la velocidad de las corrientes, el tiempo de concentración y los hidrogramas resultantes de una lluvia dada y se obtiene a partir de la siguiente relación:

Rf: Área de la cuenca/ Longitud de la cuenca

En donde valores menores que uno (1) y cercanos a cero (0) indican que la cuenca es de forma rectangular y muy alargada, con tendencia a una mayor amortiguación de las crecientes por efecto de la forma alargada de la cuenca, por el contrario, valores mayores a uno (1) indican cuencas oblongas con tendencia a la ocurrencia de crecientes con tiempos de concentración cortos.

Coeficiente de compacidad (Kc): Definido como la relación existente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un circulo con igual área que al de la cuenca, está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración de la cuenca y el comportamiento de las crecidas; para su cálculo se utiliza la siguiente formula:

$$Kc = \frac{\text{Perímetro}}{2\,(\pi * \text{Área})^{0.5}}$$

Índice de alargamiento (La): Este índice se obtiene relacionando la longitud más grande de la cuenca con el ancho mayor, en donde valores mayores de uno (1) indican cuencas alargadas.

$$Ia = \frac{\text{Longitud Máxima de la Cuenca}}{\text{Ancho Máximo de la Cuenca}}$$

Tabla 19: Factores de forma de la microcuenca Quebrada Negra

Parámetros	Und	Valor
Caída de la cuenca	Msnm	450
Longitud de la cuenca (S1)	Km	1,04
Longitud total de la cuenca (Lb)	Km	1,39
Ancho promedio de la cuenca (w)	Km	0,74
Ancho máximo		1,042
Factor de forma de la cuenca	Km	0,40
Coeficiente de compacidad		2,36
Índice de alargamiento		1,33

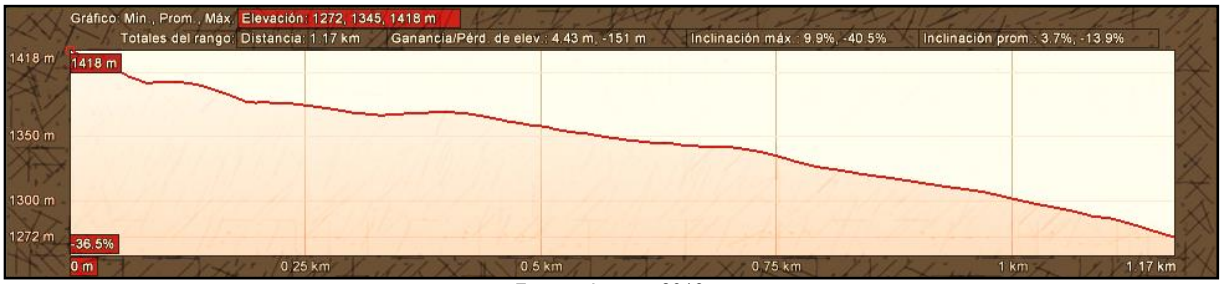
Fuente: Autores,2016

b) Factores del cauce principal

Longitud total del cauce (Lc): Es la longitud del cauce principal desde su nacimiento sobre los 1700 msnm hasta su desembocadura en el rio Gualivá a los 1200 msnm, con 1.15 Km.

Perfil longitud del cauce: Muestra la distribución de altura del cauce principal, para el caso de la microcuenca no se observa cambios bruscos en la topografía.

Figura 2: Perfil longitudinal del cauce principal

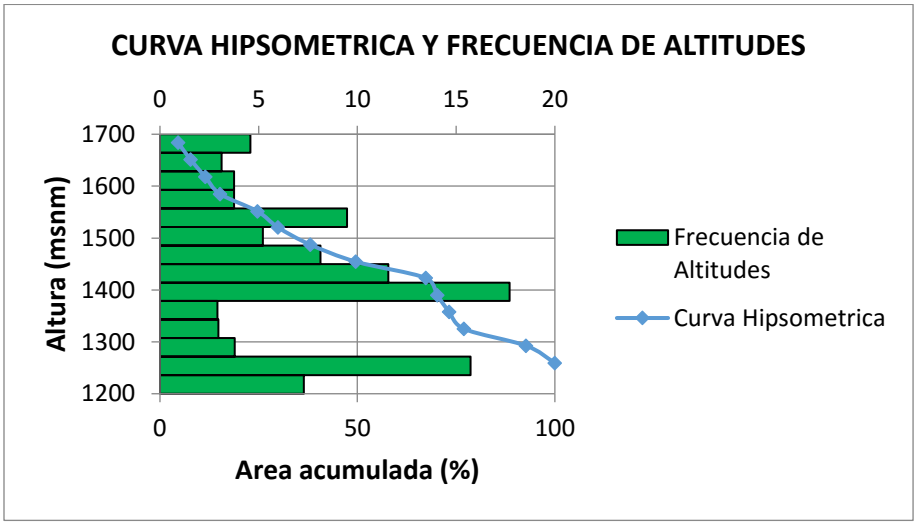


Fuente: Autores,2016

c) Factores de elevación

Curva hipsométrica: La curva hipsométrica relaciona gráficamente la distribución del relieve con respecto a la altura a lo largo de la cuenca, a partir del mapa topográfico, determinando el porcentaje de área comprendida entre diferentes alturas. En la microcuenca se observa un quiebre leve entre las cotas 1400 y 1300 lo que representa una disminución en el área entre dichas curvas; la forma de la curva hipsométrica nos indica que la microcuenca se encuentra en su fase de madurez.

Figura 3: Perfil de elevación del cauce de la Quebrada Negra



Fuente: Autores,2016

Elevación media de la microcuenca (Hm): Definida como el promedio ponderado de las alturas que se encuentran dentro de una cuenca hidrográfica, su cálculo es de gran importancia, especialmente en zonas montañosas, debido a la relación existente entre la altitud con la precipitación y la temperatura y su directa influencia en el comportamiento de la evaporación, la escorrentía y la variación del rendimiento o caudal específico (Lt/seg/km2).La elevación media se determinó a partir del mapa topográfico y el modelo digital de la cuenca, mediante el método área – elevación, el cual estima la elevación media a partir del promedio ponderado de las áreas existentes para diferentes rangos de altura.

Coeficiente de masividad (Km): Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie, el coeficiente toma valores altos en cuencas muy pequeñas y montañosas y bajos en cuencas extensas con relieve poco acentuado.

$$Km = \frac{\text{Elevación media (m)}}{\text{Área (km}^2\text{)}}$$

Valores bajos indican relieves planos en cuencas de superficie superiores a los 500 km2, mientras que valores altos indican relieves muy montañosos en cuencas de superficie no muy extensa.

Tabla 20: Factor de elevación microcuenca Quebrada Negra

Parámetro	Und	Valor
Elevación media de la cuenca	M	1442,58
Coeficiente de masividad	Km	1878,11

Fuente: Autores,2016

d) Factores de pendiente

Pendiente media del cauce: La pendiente media del cauce del río Tobia se calculó con base en el perfil longitudinal del cauce, para diferentes caídas y tramos, utilizando el método del promedio ponderado con respecto a la longitud total del río principal.

Pendiente media de la cuenca: Definida como el promedio ponderado de las pendientes que se encuentran en el interior de la cuenca, al igual que la pendiente media del cauce, la pendiente media de la cuenca se encuentra en relación directa con las características hidráulicas, la velocidad de escurrimiento y la capacidad de transporte y racionabilidad del cauce.

Tabla 21: Factores de pendiente microcuenca Quebrada Negra

Parámetro	Und	Valor
Pendiente promedio de la red hídrica	%	1,03
Pendiente promedia cuenca	%	19,27

Fuente: Autores,2016

Tiempo de concentración: Definido como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de interés, el tiempo de concentración depende de las características morfométricas de la cuenca, la cobertura vegetal y el tipo de suelo, su importancia radica en la estimación de tiempos de recorrido del escurrimiento en una cuenca. Existen numerosas ecuaciones empíricas para su cálculo, dentro del presente estudio se utilizó la ecuación de Kirpich, en las cuencas de tercer orden con un cauce mayor definido. Para la microcuenca Quebrada negra el tiempo de concentración es de 0,07 minutos.

Orden de la red hídrica: Corresponde al número de ramificaciones de la red hidria.

Tabla 22: Orden de la red hídrica

Orden red hídrica	Numero de drenajes	Longitud en (m)
1	7	1443,9865
2	4	1037,2698
3	3	426,6514
Total		2907,9077

Fuente: Autores,2016

Hidrogeología

En el área de estudio se identificó 24 acuíferos libres (freáticos) ubicados en zona de recarga, sobre suelos moderadamente profundos debido al hidromorfismo (suelos que se han desarrollado o exceso de agua) causado por el aporte de agua casi permanente de las vertientes escarpadas de la parte sur de la micro-cuenca. En el área se reconocieron 10 fincas que se abastecen de los acuíferos para uso doméstico, agropecuario e industrial. A continuación, se relaciona la información hidrogeológica.

Tabla 23: Categorización de unidades hidrogeológica presentes en área de estudio

UNIDAD		LITOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS
ESTRATIGRAFIA DEL BLOQUE ANTICLINAL VILLETA			
Mesozoico	Fm Capotes (Kic)	lodolitas calcáreas laminadas de color negro y arcillolitas lodosas	Capas semipermeables a impermeables de moderada importancia hidrogeológica. Porosidad secundaria por fracturamiento y en algunos niveles por disolución de calizas.
	Fm Hiló (Kih)	secuencia de limonitas silíceas y calcáreas	

Fuente CAR, 2011

Geología

a) Unidades Estratigráficas

Las unidades aflorantes se describen tomando como base bibliográfica la Plancha Geológica 208 (en escala 1:25.000) y su memoria explicativa (INGEOMINAS, 2002). La UG se encuentra sobre las formaciones mesozoicas Hiló (Kih) y Cápotes (Kic) pertenecientes al Grupo Villeta del Bloque Del Anticlinal De Villeta. (Ver anexo, Mapa 8 Geológico).

La formación Capotes (Kic) consta de lodolitas calcáreas laminadas de color negro y arcillolitas lodosas no calcáreas en la base; hacia el techo de la unidad ocurren capas medias a delgadas de caliza concrecional y concreciones micríticas de tamaño variable. El contacto inferior es concordante y se ubicó en el techo de la capa superior de cuarzo arenita calcárea de la Formación Socotá o sobre capa más alta de limolita calcárea de la Formación El Peñón. El contacto superior es concordante y se ubicó en la base de la capa más baja de limolitas de la Formación Hiló. (CAR, 2011).

La formación Hiló (Kih): Aflora en Cundinamarca, formando franjas alargadas, que se destacan en el relieve. Está constituida por una secuencia de limonitas silíceas y calcáreas, en capas planas, con laminación plano paralela, interestratificadas con lodolitas calcáreas; a veces ocurren capas de chert y concreciones micríticas. Su contacto inferior es concordante y se marcó en la base de la capa más baja de limolita silícea; el contacto superior de igual forma es concordante y se trazó en el techo de la capa más alta de limolita silícea.

b) Geología estructural

La microcuenca Quebrada Negra está localizada en la parte central hacia e costado occidental de la Cordillera oriental, en esta zona la cordillera presenta una dirección regional NS a NE estas características generales, junto con la posición geográfica de las diferentes unidades litológicas, dan lugar a los diferentes estilos estructurales presentes en el departamento.

Bloque del Anticlinal Villeta: Este bloque, está constituido por rocas de edad Cretácico inferior a medio, y presenta en su parte norte amplios pliegues afectados por fallas inversas, con vergencia hacia el occidente. Unidades competentes, constituidas por sedimentitas de origen turbidítico, conforman pliegues anticlinales, los cuales parecen haberse generado por la propagación de dichas fallas.

La parte sur del anticlinorio presenta características diferentes; allí se observan pequeños y escasos pliegues, muy apretados y gran cantidad de fallas de cabalgamiento, las cuales tienen vergencia hacia el occidente, en su límite oriental, vergencia hacia el oriente, en su límite occidental y vergencia hacia el norte en su parte sur. De manera que este sector fue cabalgado por sus zonas adyacentes, originó una rampa tectónica, que presenta características de tectónica de piel delgada.

Geomorfología

La micro-cuenca cuenta con gran parte de su área en posición de montaña al costado occidental de la cordillera oriental, siendo entonces el paisaje de montaña el que predomina. Sin embargo, a partir de procesos endógenos y exógenos que inciden en los modelados del paisaje, se evidencia en la vereda y parte del municipio procesos que modifican la geomorfología de la zona. (Ver anexo, Mapa Geomorfológico).

En el costado sur que corresponde a la parte alta de la microcuenca se encuentran áreas de relieve muy escarpado con afloramientos rocosos, Corresponde a geoformas producto de fallamientos que plasman paredes empinadas de alineadas con la dirección de los planos de falla que los ocasionaron. Están modelados sobre areniscas y niveles de rocas calcáreas y se encuentra a lo largo de toda la cuenca, especialmente en la margen sur occidental y nororiental, estos frentes estructurales marcan los límites de la cuenca, en la parte media de la cuenca predomina un relieve ondulado y ligeramente ondulado con pendientes de 0-5 y 5-25 y la parte baja de la cuenca se encuentra en posición de ladera con un predominio de relieve plano inclinado y se observa mayor variación en las pendientes que van de 0-5 a 5-25 y 25 a 35 % como se aprecia en la siguiente imagen.

Imagen 2: Paisaje de montaña



Tomado por: (Melo 2015)

Geoformas: Los procesos modeladores del paisaje dentro microcuenca están asociados a:

Geoformas de origen aluvial. Asociados a acumulación y erosión aluvial y representados por depósitos de llanuras aluviales, terrazas aluviales y valles aluviales, así como fluviolacustre.

Geoformas de origen denudacional: especialmente referidas a procesos erosivos modeladores del paisaje que actúan sobre rocas blandas, rocas intensamente fracturadas y meteorizadas.

Geoformas de origen Estructural. Por tratarse de una zona con intenso fracturamiento los rasgos heredados de los procesos tectónicos se ven reflejados en las formas asociadas a este fracturamiento (frentes estructurales, etc.). (Adaptado CAR,2011)

Suelos

El suelo es el conjunto de unidades naturales que ocupan las partes de la superficie terrestre que soportan las plantas, y cuyas propiedades se deben a los efectos combinados del clima y de la materia viva sobre la roca madre, en un período de tiempo y en un relieve determinado. (CAR, 2011). Los suelos se caracterizaron según la información disponible de dos estudios: detallados y semidetallado de suelos de las cuencas rio negro y rio seco. Cundinamarca y de los suelos de los municipios de Guaduas, Villeta, Sasaima, Albán, y parte de Facatativá. (Ver anexo, Mapa 6 Asociaciones de suelos).

Se mapificaron las asociaciones correspondientes para la microcuenca encontrando:

Asociación Garbanzal, Conjunto Recreo: Suelos desarrollados a partir de arcillas, lutitas y paeners, relieve ondulado a fuertemente ondulado con pendientes de 3 a 12 % superficiales o moderadamente profundos debido a hidromorfismo[2] el cual es causado por el aporte de agua casi permanente de las partes altas de las vertientes, texturas moderadamente finas y finas, imperfectamente drenados. Morfológicamente presentan un horizonte Ap que varía en espesor de 10 a 15 cm, color gris oscuro a pardo grisáceo muy oscuro, con moteados de pardo fuerte a pardo amarillento, texturas arcillosas a franco arcillosas, Horizontes A Y B moderados y debidamente estructurados en bloques angulares y subangulares con texturas media y fina. El horizonte C, de color gris oscuro con abundante moteado de pardo fuete o pardo amarillento, textura arcillosa. Profundidad efectiva de 75 cm**.** Drenaje Externo medio, interno lento, natural imperfecto**.**

Asociación Loma Larga (LG) Conjunto Loma Corta (tipic Dystropept): Se ha formado a partir de la meteorización de lutitas, relieve plano inclinado pendientes de 12 a 25 y de 25 a 50 suelos modernamente profundos, texturas finas bien drenados. El perfil presenta un horizonte Ah hasta los 30 a 40 cm, de color pardo a pardo oscuro, texturas arcillosas a franco arcillosas y estructuras en bloques angulares y subamgulares, texturas finas y media, moderado a débil. Continua hasta 120 cm un horizonte B de color pardo amarillento, textura arcillosa en bloques subanguales a angulares fina a medias, moderada. Drenaje externo excesivo, interno medio, natural bien drenado. Profundidad efectiva: 120 cm o más.

Misceláneo Rocoso (MR): Se encuentra en áreas de relieve muy escarpado, afloramiento rocoso de areniscas y pleaners, cornisas con formas muy escarpadas con afloramiento rocoso poca o nula vegetación.

[2] Hidromorfismo: tipos de horizontes de suelos que se han desarrollado en presencia temporal o permanente, déficit de aireación, escaso hierro y magnesio, abundante materia orgánica, drenaje superficial deficiente y de exceso de agua

4.3.1.2 Caracterización del medio biótico

Cobertura vegetal

De acuerdo con la clasificación climática de Holdridge la micro-cuenca pertenece a una zona de vida de Bosque húmedo pre-montano (bh-PM). La cobertura boscosa presenta Bosque natural fragmentado, bosque secundario, bosque ripario y bosque plantado.

Se observaron especies como: Cecropia arachnoidea, Inga marginata, Croton Smithianus, Bannara guianensis, Trichanthera gigantea, se destaca G. angustifolia y comerciales como Citrus reticulada, P. americana P. radiata, C. arábica, entre otras.

Fauna

De la amplia diversidad de fauna registrada en el diagnóstico de la subcuenca del Río Tobia, se registra la presencia de 22 especies endémicas: 2 anfibios, 10 aves y 10 mamíferos. Con algún grado de amenaza según UICN (CAR, 2011) 47 especies: 12 en CR (peligro crítico), 13 en VU (vulnerable), 7 en NT (casi amenazado), 1 en LC (preocupación menor) y 1 en DD (datos deficientes).

Imagen 3: Flora característica de la microcuenca



Tomado por: (Melo 2014)

Imagen 4: Fauna característica de la microcuenca



Tomado por: (Melo, 2015)

4.3.1.3 Caracterización medio socioeconómico

Población

Está conformada en un 54 % por familias campesinas y 46% por familias de origen urbano denominadas neo-rurales con vivienda de segunda residencia, 45% de los habitantes reside en la zona de manera permanente y el 55% restante lo hace de manera temporal. La migración hacia la micro-cuenca se da en un 35% por motivos escapistas "Personas que buscan posibilidad de aislarse, de sus rutinas diarias en la ciudad, en procura de descanso y revitalización física y psíquica" (Sastoque M. J., 2013) mientras que el 5% migró por otros.

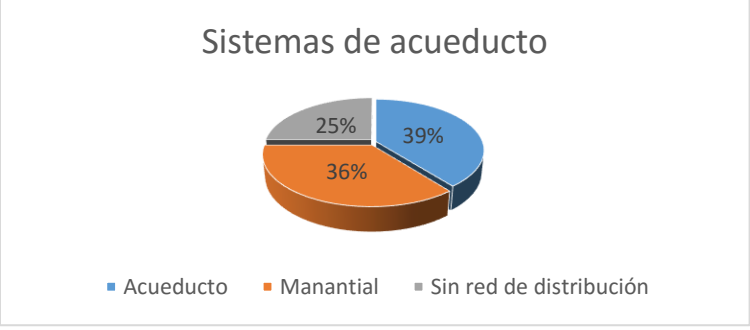
La escolaridad principalmente es de nivel primario con un 35%, seguido de profesional y bachiller con 30% cada uno. El 65% de la población ha asistido a capacitaciones en actividades agropecuarias.

Redes e infraestructura

De los 28 predios dentro de la microcuenca 22 cuenta con vivienda, La red vial comprende una cercanía de 1 Km aproximadamente a la vía de orden Departamental llamada la Troncal del Café que permiten la comunicación al interior del municipio y exterior con el municipio de La Vega, este eje vial fue incluido dentro del Plan 2500 (Alcaldía municipal, 2009). La malla vial terciaria que recorre la parte interna de la micro-cuenca se encuentra conformada en su longitud en recebo afinado.

La red de acueducto distribuye al 39% de sistemas finca y pertenece a la empresa Acualimonal y Guane Sata Teresa la primera cuenta con sistema de distribución por medio de tubería de media pulgada con 2 tanques de almacenamiento y distribución de 2000 L; el segundo corresponde a un sistema básico por medio de manquera de polietileno de baja densidad con tanques de distribución de 1000 y 500 L, la comunidad manifiesta que el agua no presenta adecuadas condiciones organolépticas. La red de alcantarillado es inexistente a nivel veredal, sin embargo, los sistemas fincan con vivienda cuentan con pozos sépticos para el manejo de agua residual doméstica. La red de energía eléctrica abastece al 85% de las viviendas, el servicio es prestado por la Empresa de Energía de Cundinamarca. El 85% de viviendas tiene suministro de gas propano por compra de cilindro. (Ver Mapa Redes e infraestructura).

Figura 4: Sistema de acueducto o captación de aguas para usos doméstico en la microcuenca



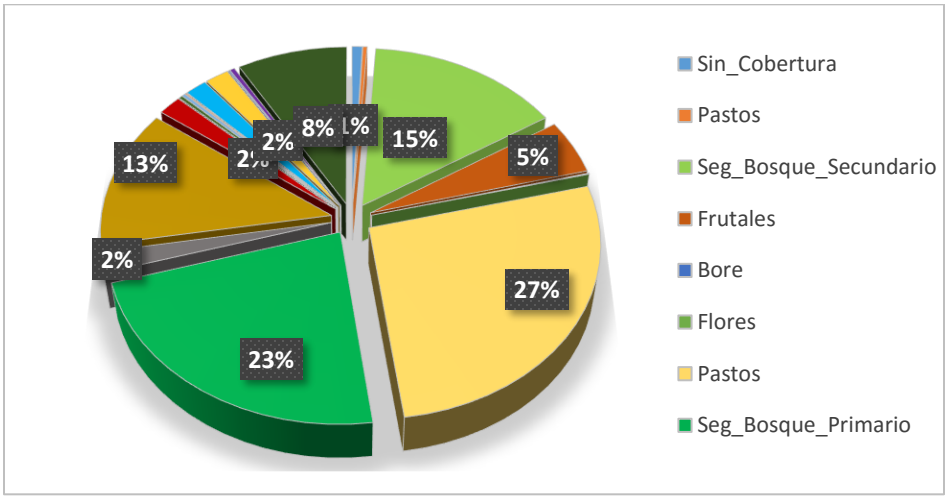
Fuente: Autors,2016

En equipamientos sociales existe el salón comunal que está disponible para los habitantes de la zona y es administrada por la JAC, sin embargo la comunidad manifiesta una subutilización de este espacio de integración.

Uso actual del suelo

Además de la cobertura vegetal natural el resto coberturas para el área corresponde a una parte de rastrojos y otra a cultivos de principalmente de caña, pastos y misceláneas de frutales, se consideró para el estudio de caso una cobertura denominada de vivienda ocasional que corresponde a una integración de infraestructura, prados, jardines y algunas plantas frutales. (Ver Mapa Recursos naturales y uso del suelo).

Figura 5: Uso actual del suelo



Fuente: Autors,2016

Clasificación de uso y tratamiento del suelo

Dentro de la microcuenca se reconocieron dos clasificaciones de uso según el esquema de ordenamiento territorial vigente para el municipio de Sasaima:

Uso de Suelos en área de especial importancia ecosistémica en nacimientos de ríos, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de los cuerpos de agua, regulados bajo el Acuerdo No. 016 de 1998, expedido por la CAR (Tabla 8). La unidad mínima de subdivisión para predios que se localicen en estas áreas no puede ser inferior a 1 Unidad Agrícola Familiar (7,95 ha) (Alcaldía municipal de Sasaima, 2013).

Uso de suelo agropecuario tradicional: suelo rural que no está clasificado dentro de ninguna otra categoría, el área o lote mínimo de parcelación es una (1) unidad agrícola familiar (UAF) (Alcaldía Municipal de Sasaima, 2013).

Tabla 24: Clasificación de áreas de especial importancia ecosistémica

CRITERIOS ÁREAS DE ESPECIAL IMPORTANCIA ECOSISTÉMICA	
Franja de suelo de protección áreas periféricas a nacimientos, cauces de ríos, quebradas y arroyos	En desarrollo de las determinantes contenidas en el Acuerdo No. 016 de 1998, expedido por la CAR, son franjas de suelo de por lo menos 100 metros a la redonda medidos a partir de la periferia del nacimiento y no inferior a 30 metros de ancho a partir del nivel máximo a cada lado de los cauces de ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no. Las franjas de protección podrán ser reducidas o ampliadas con base en estudios técnicos hídricos específicos realizados en la fuente hídrica, los cuales deben ser realizados por profesionales idóneos en el área y avalados por el Ente Ambiental.
USOS PARA SUELO AGROPECUARIO TRADICIONAL	
Uso principal	Agropecuario tradicional y forestal. Se debe dedicar como mínimo el 20% del predio para uso forestal protector – productor, para promover la formación de la malla ambiental.
Usos compatibles	Infraestructura para construcción de Distritos de Adecuación de Tierras, vivienda del propietario y trabajadores, establecimientos institucionales de tipo rural, producción orgánica, y granjas de baja intensidad: avícolas, cunícolas.
Uso condicionado	Cultivos de flores, granjas porcinas semi-intensivas, granjas avícolas semi-intensivas, vías de comunicación, infraestructura de servicios, agroindustria, estructura municipal y metropolitana, Infraestructura para captación de agua potable, tratamiento de agua saneamiento y sistemas de tratamiento de residuos sólidos y líquidos, agricultura de labranza mínima, actividad piscícola, parcelas demostrativas dirigidas a la educación ambiental y a la transferencia de modelos agroforestales y agro silvopastoriles, ecoturismo, etnoturismo, agroturismo y acuaturismo.
Usos prohibidos	Agricultura mecanizada, minería, usos urbanos y suburbanos, industria de transformación y manufacturera de mediano y alto impacto, parcelación rural, vivienda campestre, explotaciones avícolas y porcícolas intensivas.

Fuente: EOT. Alcaldía de Sasaima, 2013.

Actividades económicas

En cuanto al as actividades económicas que se desarrollan dentro de los predios de la microcuenca encontramos en el sector primario los cultivos de frutales, caña y pastos para la ganadería principalmente que atreves del tiempo se han convertido en cultivos de pancoger debido a la baja rentabilidad de su comercialización además de algunas actividades pecuarias con la misma tendencia (porcicola; avícola; piscícola y ganadería caprina, bovina y equina). Para el sector secundario se identificó dos actividades de trasformación, elaboración de panela y productos derivados de la leche. El 55% de los sistemas fincas contrata mano de obra local, el 30% mano de obra es familiar y 15% mixta. El 40% de las familias cuentan con un ingreso extra predial, mientras que para el 25% sus ingresos dependen de la producción de sus fincas y el 35% ingresos mixtos, el empleo no agrícola ocupa la mayor proporción con un 50%. El 85% de la población cuenta con acceso a créditos El destino de la producción está dirigido principalmente al

autoconsumo y de los habitantes que comercializan productos el 40% lo hacen en el mercado local y regional. Sin embargo, la comunidad manifiesta que las condiciones del mercado no ofrecen las garantías para generar utilidades debido a los bajos precios de compra que ofrecen los intermediarios y los altos costos del transporte. (Gómez, et al. 2015).

Imagen 5: Trapiche de caña panelera



Tomado por: (Córdoba, 2014)

4.3.2 Índice de Uso de Agua (IUA)

Demanda hídrica

A continuación, se presentan los resultados de la estimación de la demanda hídrica por sectores.

- Demanda uso de agua sector domestico

Se calculó la demanda para el sector clasificando los propietarios por acueducto, tipo de vivienda para conocer la dinámica de permanencia de los habitantes, número de personas por vivienda que se abastecen, consumo promedio al mes y al año.

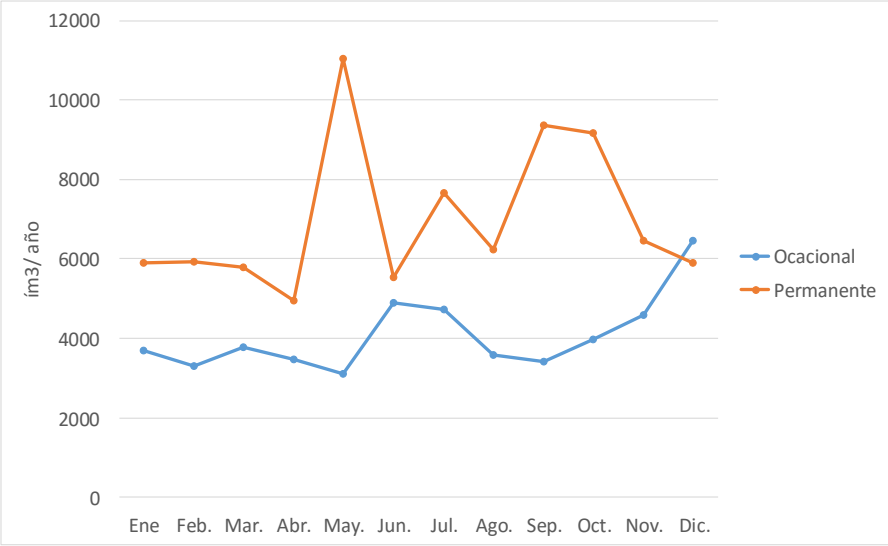
Tabla 25: Demanda uso de agua sector doméstico – Acueducto Acualimonal

Nombre del Propietario	Tipo de Vivienda	No. Personas/ Vivienda	Consumo Promedio m3/mes	Consumo Promedio m3/año
Hortensia De Castro	Permanente	1	0,9	10,8
German Rivera	Ocasional	3	2	24
Peñuela Helena	Permanente	2	2,9	34,8
Luis Felipe Fandiño	Ocasional	2	0,4	4,8
Cecilia Castro	Ocasional	2	0,6	7,2
Bautista Carlos	Permanente	3	3,8	45,6
Jairo Campos	Ocasional	2	0,7	8,4
Víctor Castro	Permanente	2	0,6	7,2
Total		17	11,9	142,8
Promedio	Ocasional	2,25	0,925	11,1
	Permanente	2	2,05	24,6

Fuente: Autores, 2016

Para el acueducto Acualimonal se presenta un consumo promedio de 11,9 m^3/mes y 142,8 m^3/año con un total de 17 beneficiarios de los cuales el 52,94% corresponde ocasionales y el 47,05% a permanentes.

Figura 6: Consumo de agua mensual acueducto Acualimonal



Fuente: Autores, 2016

Los consumos de los habitantes permanentes presentan un minimo en el mes de abril con un promedio de 5 m^3 y un maximo en el mes de mayo con 11 m^3 (lo que obedece a perdidas en la red de suministro adjudicadas a los

consumidores); sin embargo en el mes de junio se normaliza el consumo con 5.5 m^3 manteniendose la tendencia en los meses de agosto, noviembre y diciembre, y con picos de consumo en julio, septiembre y octubre. Los habitantes con residencia ocacional presentan una dinamica de consumo promedio de 0,925 m^3/mes y 11,1 m^3/año con un minimo en el mes de mayo con 3 m^3 y un maximo en el mes de diciembre de 6.1 m^3 lo que representa un incremento del 100% con respecto al minimo lo que se puede atribuir a la fecha de vacaciones donde se presenta un alza en el numero de visitantes. Aunque el 52,94% de beneficiarios son consumidores ocasionales su demanda corresponde solo al 37% del consumo total del agua suministrada por el acueducto, mientras que el 47,05% son consumidores permanentes demandan un 63%, lo cual nos deja ver que no se guarda una proporcion directa entre el numero de beneficiarios por tipo de residencia y el consumo, sino que por el contario prevalece el tiempo de permanencia en la residencia como factor de incremento en el consumo.

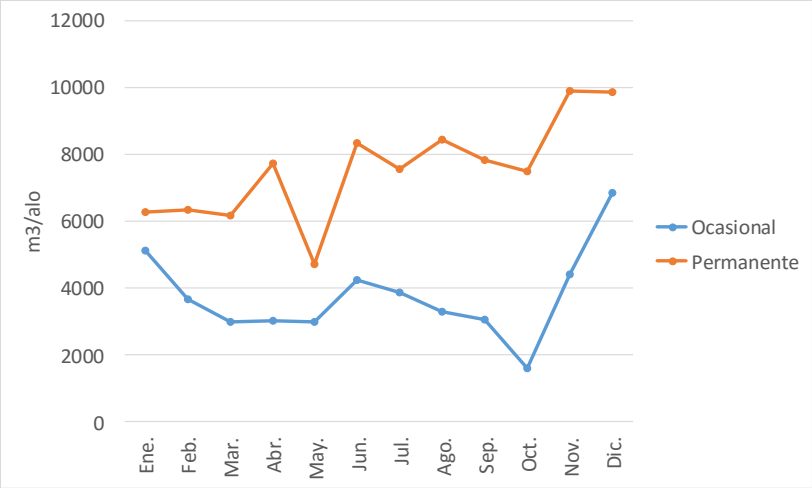
Tabla 26: Demanda uso de agua sector doméstico – Acueducto Guane Sta. Teresa

Nombre del Propietario	Tipo de Vivienda	No. Personas/ Vivienda	Consumo Promedio m3/mes	Consumo Promedio m3/año
Carlos Hurtado	Ocasional	4	3,4	40,8
Bernert Warner	Permanente	3	5,3	63,6
Alba Camargo	Ocasional	2	0,65	7,8
Total		9	9,35	112,2
Promedio	Ocasional	3	2,025	24,3
	Permanente	3	5,3	63,6

Fuente: Autores, 2016

Se identificaron 3 predios que se abastecen del acueducto Guane Sta. Teresa con una ocupación permanente de 3 personas con un consumo promedio de 5,3 m^3/mes y 63,6 m^3/año; la ocupación ocasional es de 6 personas con consumos promedios de 2,025 m^3/mes y 24,3 m^3/año para un total de 112,2 m^3/año.

Figura 7: Consumo de agua mensual acueducto Guane - Santa Teresa



Fuente: Autores, 2016

Se presentan datos diferenciados entre los consumos de los residentes ocasionales y permanentes en lo referente al volumen de consumo, sin embargo, en la tendencia de consumo presentan similitudes, en los consumos de enero a

mayo y de julio a octubre se aprecian los datos más bajos; mientras que en los meses octubre noviembre y diciembre hay un incremento promedio de 2.5 m^3/año entre los dos tipos de residentes. El porcentaje de participación en el consumo corresponde al 33% para habitantes ocasionales y 67% para permanentes, lo que permite observar que, aunque el número de personas con residencia ocasional es mayor sigue incidiendo en la permanencia de las personas en las viviendas.

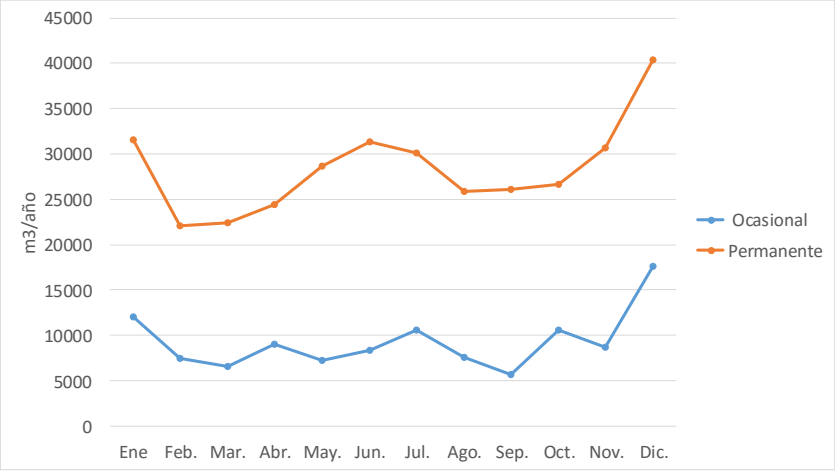
Tabla 27: Demanda uso de agua sector doméstico – Acueducto Manantial

Nombre del Propietario	Tipo de Vivienda	No. Personas/ Vivienda	Consumo Promedio m3/mes	Consumo Promedio m3/año
Raúl Castro	Permanente	7	10,5	126
Elías Corredor	Permanente	1	6,3	75,6
José Benito Castro	Permanente	1	0,8	9,6
Martha Monje	Ocasional	4	0,8	9,6
Hernán Pérez	Ocasional	2	2,6	31,2
Alicia Mora	Permanente	2	4,6	55,2
Jair Lesmes	Ocasional	3	1,7	20,4
Víctor Medina	Ocasional	3	1,4	16,8
Yolanda Zarate	Permanente	2	2,1	25,2
Gilberto Alzate	Ocasional	2	0,3	3,6
Total		27	31,1	373,2
Promedio	Ocasional	2,8	1,36	16,32
	Permanente	2,6	4,86	58,32

SA:Sin Acueducto, Fuente: Autores, 2016

Se identificaron diez (10) predios conectados al acueducto con 27 personas beneficiadas y un consumo promedio de 373,2 m^3/año de los cuales 16,32 m^3/año corresponde a residentes ocasionales y 58, 32 m^3/año a residentes permanentes.

Figura 8: Consumo de agua mensual acueducto Manantiales



Fuente: Autores, 2016

Se agruparon los consumos promedios totales para cada uno de los acueductos, con un total de 53 personas beneficiadas del servicio, 21 predios conectados al sistema de abastecimiento y un total de 628,2 m^3/año de consumo.

Tabla 28: Demanda total de uso de agua domestico

Acueducto	No. Personas/ Vivienda	No. de predios	Consumo Promedio m3/año
Acualimonal	17	8	142,8
Guane Sta. Teresa	9	3	112,2
Manantial	30	10	373,2
Total	56	21	628,2

Fuente: Autores, 2016

La demanda total de agua domestica para cada uno de los acueductos está directamente relacionada con el número de predios y personas abastecidas, en donde el acueducto Guane Sta. Teresa presenta un consumo mínimo para 3 predios y 9 personas de 112,2 m^3/año, por otra parte, los manantiales son el sistema de abastecimiento de mayor cobertura con 10 predios y 27 personas entre consumo permanente y ocasional con un promedio de 373,2 m^3/año lo que en gran parte obedece a la posición estratégica de los predios con respecto al punto de captación que facilita el transporte del líquido.

- Demanda uso de agua sector industrial

Se presenta la estimación de consumo para los trapiches identificados en el área de estudio, relacionando propietario, la capacidad de producción de cargas de panela a la semana y demanda de agua mes y año.

Tabla 29: Demanda uso de agua sector Industrial - Trapiches

Propietario	Cargas/semanas	m3/mes	m3/año
Raúl Castro	60	8	96
Efraín Castro	60	8	96
Total	120	16	192

Fuente: Autores, 2016

- Demanda uso de agua sector agrícola

Se estimó la evapotranspiración real ETP para la microcuenca por los métodos de cálculo Thornthwaite y Wilm, y Blaney y Criddle .

Tabla 30: Evapotranspiración Real ETP, Método Thornthwaite y Wilm

Variable	T (°C)	J	K	a	ETP(mm)
Enero	21,9	9,358	1,02	2,5	85,849
Febrero	23,4	10,346	0,93		92,373
Marzo	21,1	8,846	1,03		78,989
Abril	21,1	8,846	1,02		78,222
Mayo	21,6	9,165	1,06		86,192
Junio	21,7	9,229	1,03		84,725
Julio	22,4	9,684	1,06		94,395
Agosto	22	9,423	1,05		89,386
Septiembre	23	10,079	1,01		96,087
Octubre	22,2	9,553	1,03		89,690
Noviembre	21,2	8,909	0,99		76,824
Diciembre	21,8	9,294	1,02		84,872
Total		112,730			1037,605

Fuente: Autores, 2016

Para la estimación del cálculo se halló la temperatura (°C) mensual, el índice de calor (J) mensual y anual, el factor de corrección mensual de latitud (K) y el exponente a que se expresa en función del índice de calor para finalmente calcular la ETP anual de la microcuenca con 1037,605 mm/año.

En la estimación de la ETP con el método Thornthwaite y Wilm se puede apreciar que los meses con datos más altos de temperatura (°C), índice de calor (J) y el factor de corrección mensual de latitud (K) están directamente relacionados con los resultados máximos de ETP correspondientes a los meses de febrero y septiembre con valores de 92,373 y 96,087 respectivamente; sin embargo los meses de abril y noviembre presentan los datos mínimos de ETP caracterizándose por ser meses de 30 días para los cuales el factor (K) es el menor con 0,93 y 0,99 para cada uno de ellos, lo que indica que la variable de peso en el cálculo de la ETP es la (K).

Tabla 31: Evapotranspiración Potencial ETP, Método Blaney y Criddle

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Sept	Octu	Nov	Dic	Total
T (°C)	21,9	23,4	21,1	21,1	21,6	21,7	22,4	22	23	22,2	21,2	21,8	22
P (brillo solar%)	5,25	5,03	3,04	3,41	2,11	3,4	6,14	4,54	2,98	4,95	4,74	4,93	4,21
ETP(mm)	95,571	95,037	54,221	60,821	38,119	61,581	113,2	82,855	55,756	90,793	84,761	89,519	922,22

Fuente: Autores, 2016

El método relaciona la temperatura (°C) con el brillo solar (%) como variables de peso para estimar la ETP; siendo los meses de enero y julio los que presentan los valores máximos de ETP, y mayo y marzo los mínimos con 38,119 y 54,221 mm respectivamente. Los meses con temperaturas promedio a 22 °C y brillo solar entre 4,5 y 4,9% tienen una ETP entre 80 y 90 mm y los mese con temperaturas máximas de 23 °C de temperatura y brillo de solar entre 2,90 y 5% presentan datos extremos con diferencia de 50 mm, mientras que los meses con temperatura promedio de 21 a

22 °C y valores máximos de brillo solar presentan la ETP máxima lo que indica que las variables de peso en el cálculo es el brillo solar.

A continuación, se presentan los factores de corrección (Kc) para coberturas naturales y cultivos necesarios para estimar la demanda de agua.

Tabla 32: Factor de corrección por coberturas naturales

Cobertura	Bore	Rastrojos	Bosque Secundario	Franja Forestal Protectora	Plantación Forestal	Seg Bosque Primario
Kc	1,1	1,05	1	1	1	1

Fuente: Aparicio (2004:58)

Tabla 33: Factor de corrección por cultivo

Cultivo	Flores	Plátano	Caña	Cacao	Café	Mango	Papaya	Pastos	Cítricos	Frutales	Aguacate	Piña
Kc	1,5	0,9	0,82	0,77	0,77	0,77	0,7	0,7	0,57	0,57	0,52	0,5

Fuente: Aparicio (2004:58)

Se calculó la demanda de agua para las coberturas presentes en la zona: usos consultivos, coberturas naturales y vivienda ocasional con cada uno de los métodos de cálculo de la ETP.

Tabla 34: Demanda de agua para usos consultivos
Método Blaney y Criddle y Thornthwaite y Wilm

Cultivo	Aguacate	Cacao	Café	Caña	Cítricos	Flores	Frutales	Mango	Pastos	Papaya	Piña	Plátano	Total
Blaney y Criddle (mm)	479,55	710,11	710,11	756,22	525,66	1060,55	599,44	710,11	645,55	645,55	461,11	830	8133,96
Thornthwaite y Wilm (mm)	539,55	798,96	798,96	850,84	591,44	1193,25	674,44	798,96	726,32	726,32	518,8	933,84	9151,68

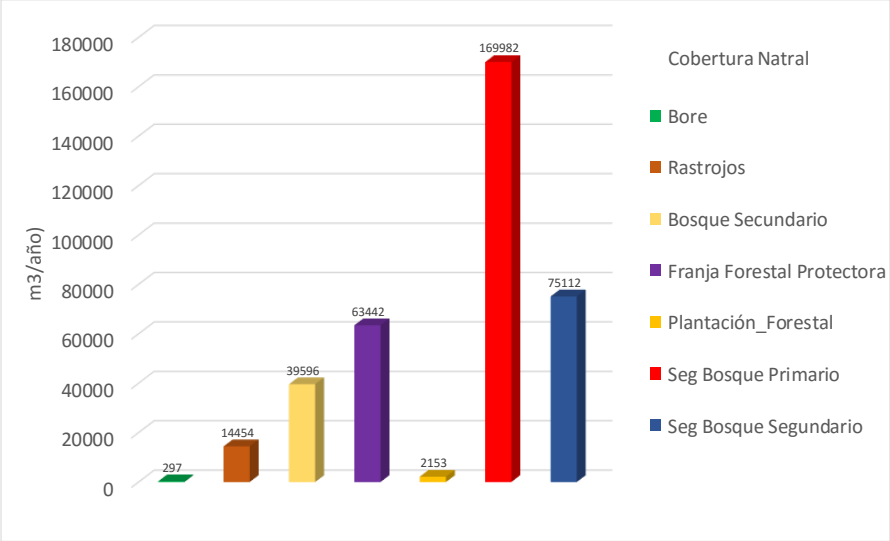
Fuente: Autores, 2016

Tabla 35: Demanda de agua para cobertura natural – área

Coberturas	Bore	Rastrojos	Bosque Secundario	Franja Forestal Protectora	Plantación Forestal	Segmento Bosque Primario	Segmento Bosque Segundario	Total
(m3)	297,1	14454,2	39596	63442,1	2152,79	169982,28	75111,7	365036
Área (Ha)	0,03	3,82	3,82	6,11	0,21	16,38	7,24	35,11
% Área	0,04	1,91	5,65	9,05	0,31	24,25	10,71	50,01

Fuente: Autores, 2016

Figura 9: Demanda de agua por cobertura natural



Fuente: Autores, 2016

Tabla 36: Demanda por cobertura vivienda ocasional – área

Coberturas de vivienda ocasional	Kc	(m3)	Área (Ha)	% Área
Vivienda (prados, vías)	1	13654,49	1,32	1,95
Sin Cobertura	0,93	5410,31	0,56	0,83
Total	--	19064,80	1,88	2,78

Fuente: Autores, 2016

La ETP para los usos consuntivos, coberturas naturales y vivienda ocasional presentan una diferencia promedio de 100 mm entre los dos métodos empleados para el cálculo, valores que reflejan los datos obtenidos en la estimación de la ETP para la microcuenca en donde el método de Blaney y Criddle se caracteriza por presentar los valores más bajos en todos los meses con un total de 922,22 mm/año respecto al método de Thornthwaite y Wilm en donde la ETP total para la microcuenca es de 1037,605 mm/año.

En los usos consuntivos los cultivos de plátano y flores presentan los datos más altos tanto en los dos métodos debido a que los valores de corrección Kc son los más altos en los cultivos presentes en la zona, de igual los datos mínimos corresponden a los dos cultivos con Kc más bajo para los cultivos de piña y aguacate.

Las coberturas naturales se caracterizan por que a la mayoría de las presentes en la zona les corresponde el mismo Kc lo que genero valores iguales de ETP con los dos métodos, el Bore y los Rastrojos tienes los factores de corrección más altos con 1,1 y 1,05 respectivamente arrojando la ETP más alta para coberturas naturales.

En los datos obtenidos de las coberturas de vivienda ocasional el valor más bajo corresponde a las áreas que no tienen ningún uso catalogadas como áreas sin cobertura cuyo valor de Kc es 0,93 lo que indica que tiene una alta ETP ya que no presenta coberturas vegetales que retengan el agua, lo mismo pasa con la vivienda que debido a los materiales en que están construidas como ladrillo y tejas de fibrocemento presentan una alta ETP por su baja capacidad de retención de agua.

Las variables utilizadas en el cálculo de la ETP por los métodos Blaney - Criddle, y Thornthwaite – Wilm consideran variables climatológicas que expresan la incidencia de la radiación solar sobre la superficie, como la temperatura y el brillo solar para el método Blaney – Criddle y el índice de calor, la temperatura y el factor de corrección de la latitud (K) para el caso de Thornthwaite – Wilm ; aunque las variables utilizadas en los dos métodos guardan una relación directa con la radiación solar, el (K) se considera la variable de peso que influye directamente sobre la ETP ya que este valor expresa la duración de la luz solar de acuerdo a los días totales de cada mes lo que podría generar un incremento en el cálculo de la ETP. Por lo anterior se propone continuar los cálculos de la demanda de agua con los datos obtenidos con el método de Thornthwaite – Wilm ya que se considera que tiene variables que representan de una forma aproximada las condiciones climatologías del territorio.

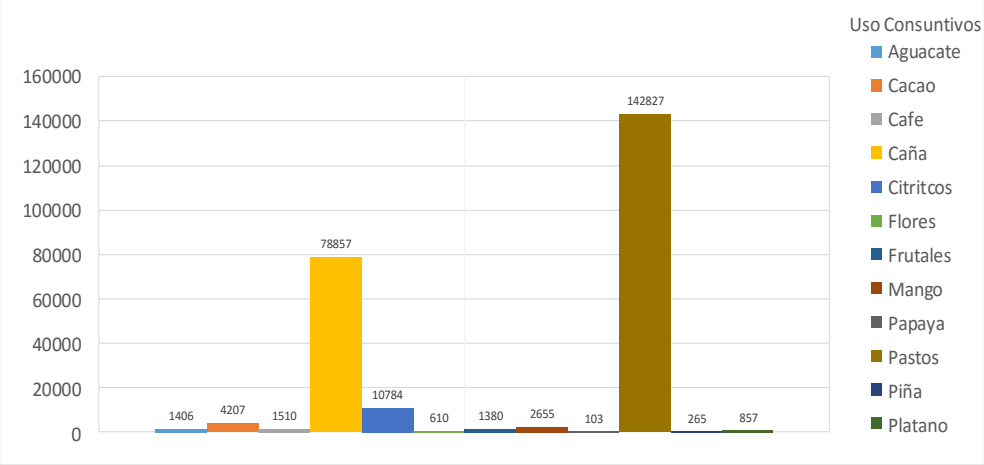
Se presenta la correlacion entre la demanda, el area y % area para cada una de las cobertura con los datos obtenidos con el metodo de calculo de la ETP de Thornthwaite y Wilm.

Tabla 37: Demanda de agua por usos consultivos – área

Cultivo	Aguacate	Cacao	Café	Caña	Cítricos	Flores	Frutales	Mango	Papaya	Pastos	Piña	Plátano	Total
(m^3)	1406,43	4207	1509,7	78856,99	10784	609,67	1379,72	2655,39	102,98	1E+05	265,2	856,78	245460
Área (Ha)	0,26	0,53	0,19	9,27	1,82	0,05	0,2	0,33	0,01	19,66	0,05	0,09	32,48
% Área	0,38	0,76	0,27	13,46	2,65	0,07	0,3	0,48	0,02	28,57	0,07	0,13	47,18

Fuente: Autores, 2016

Figura 10: Demanda de agua por usos consultivos



Fuente: Autores, 2016

Se hizo una correlación entre el área de ocupación de cada uno de los cultivos con la ETP calculada por uso consuntivo para establecer la demanda de agua por % área - cultivo, en donde los cultivos con mayor área presentan los valores máximos de ETP lo que corresponde a los cultivos de pastos y caña panelera con una ETP de 142827 m^3 y 78856,99 m^3 respectivamente, de igual manera los cultivos con menor representación de área tienen una demanda menor de agua, en donde encontramos los cultivos de piña y papaya con un % de área 0,05 y 0,01. Los datos obtenidos de la relación entre % área – cultivo y ETP indica que para el caso específico de la microcuenca la demanda de agua está

directamente relacionada con el área de ocupación de los diferentes cultivos y que el factor por cultivo (K) no es determinante o una variable de peso para la estimación.

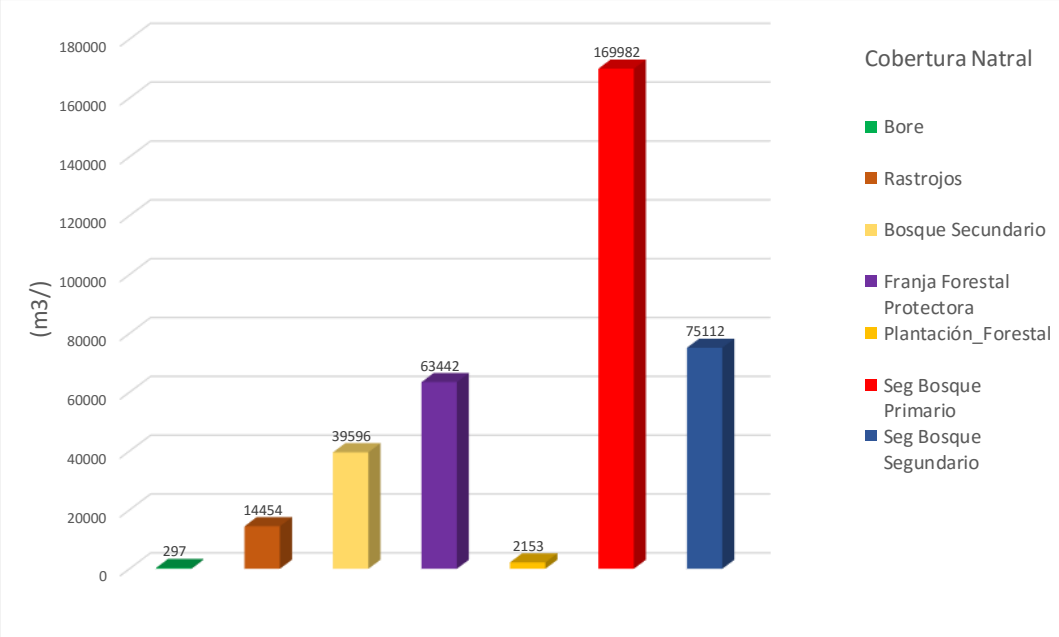
Tabla 38: Demanda de agua para cobertura natural – área

Coberturas	(m3)	Área (Ha)	% Área
Bore	297,14	0,03	0,04
Rastrojos	14454,19	3,82	1,91
Bosque Secundario	39596,00	3,82	5,65
Franja Forestal Protectora	63442,10	6,11	9,05
Plantación Forestal	2152,79	0,21	0,31
Segmento Bosque Primario	169982,28	16,38	24,25
Segmento Bosque Segundario	75111,70	7,24	10,71
Total	365036,20	35,11	50,01

Fuente: Autores, 2016

Los Segmento Bosque Primario y Segmento Bosque Segundario son las coberturas naturales con él % área más alto en la microcuenca con 24,25 y 10,71% para cada uno, lo que se observa en la demanda de agua siendo las coberturas de mayor consumo con 169982,28 y 75111,70 respectivamente, también se presenta la cobertura de Bore con un 0,04% del área siendo el valor más bajo en la medición con una demanda de agua de 297 m^3. Lo anterior indica que a mayor área ocupada por cobertura natural mayor será su demanda de agua.

Figura 11: Demanda de agua por cobertura natural



Fuente: Autores, 2016

Tabla 39: Demanda por cobertura vivienda ocasional – área

Coberturas de vivienda ocasional	Kc	(m3)	Área (Ha)	% Área
Vivienda (prados, vías)	1	13654,49	1,32	1,95
Sin Cobertura	0,93	5410,31	0,56	0,83
Total	--	19064,80	1,88	2,78

Fuente: Autores, 2016

A partir de la estimación de la evapotranspiración real ETR para la microcuenca, el cálculo de la demanda por coberturas vegetales y coberturas de vivienda ocasional se presenta la demanda total de agua para el desarrollo de las actividades agrícolas.

Tabla 40: Demanda Total de agua

Cobertura Vegetal	Thornthwaite y Wilm(mm)
Usos Consuntivos	245460,23
Coberturas naturales	365036,20
Coberturas de vivienda ocasional	2002,58
Total	612499,01

Fuente: Autores, 2016

- Demanda uso de agua sector pecuario

El consumo del sector pecuario se estimó de acuerdo a las actividades pecuarias de las zonas identificadas como módulos de consumo.

Para la actividad pecuaria se presentan los consumos de agua de acuerdo a las unidades de animales y las fases del proceso de la cadena productiva.

Tabla 41:Módulos de consumo para la actividad pecuaria

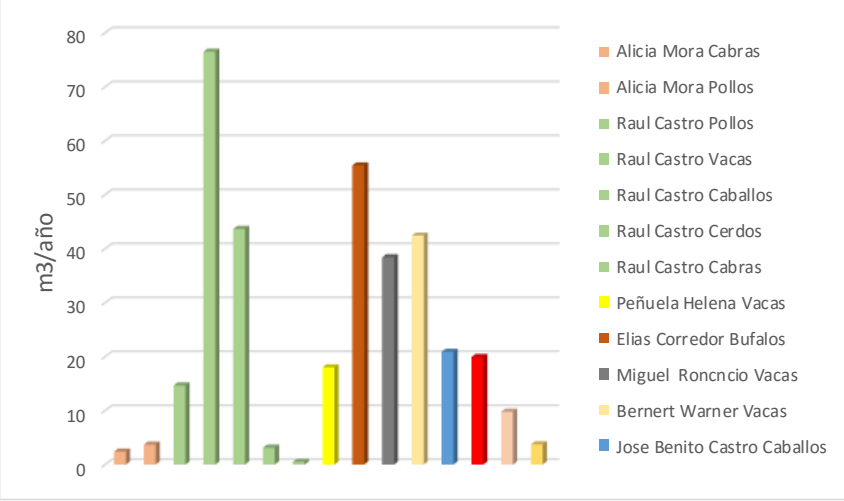
Propietario	Pecuario	Cantidad	Cv (L/mes)	Cs (L/mes)	Cua(L/mes)	Dp (L/mes)	Dp (m3/año)
Alicia Mora	Cabras	2	90	0	10	200	2,4
	Pollos	10	0,75	10	20	307,5	3,69
Raúl Castro	Pollos	20	1,05	20	40	1221	14,652
	Vacas	8	797	0	0	6376	76,512
	Caballos	4	900	0	10	3640	43,68

Propietario	Pecuario	Cantidad	Cv (L/mes)	Cs (L/mes)	Cua(L/mes)	Dp (L/mes)	Dp (m3/año)
	Cerdos	4	30	30	5	260	3,12
	Cabras	2	20	0	0	40	0,48
Helena Peñuela	Vacas	2	750	0	0	1500	18
Elías Corredor	Búfalos	6	770	0	0	4620	55,44
Miguel Roncancio	Vacas	4	780	0	20	3200	38,4
Bernert Warner	Vacas	4	854	0	30	3536	42,432
José Benito Castro	Caballos	2	870	0	0	1740	20,88
Efraín Castro	Caballos	2	830	0	0	1660	19,92
Carlos Hurtado	Pollos	20	0,75	10	30	815	9,78
Gilberto Alzate	Pollos	10	1,05	10	20	310,5	3,726
Total		100	6694,6	80	185	29426	353,112

Dp: Demanda pecuaria, Cv: Consumo Vital en la fase de cría, levante y terminación
Cs: Consumo en sacrificio, Cua: Consumo en lugares de manejo y alojamiento del animal, Fuente: Autores, 2016

Las actividades que presentan una mayor demanda de agua son el ganado bovino con 76 m^3/año, los búfalos con 55 m^3/año y los caballos con 42 m^3/año, y los animales con menor consumo son las cabras y los pollos con 2,4 y 3,6 m^3/año respectivamente. De igual manera se observa que la mayoría de los predios se tiene un solo tipo de animal en pequeñas cantidades lo que representa un consumo menor de agua, y los predios en donde se tiene animales con diferente propósito pecuario y varias unidades de los mismos presentan un mayor consumo. La demanda de agua está directamente relacionada con el número de animales sin embargo desde la percepción de algunos propietarios la tenencia de animales depende exclusivamente del área tota disponible para tal fin. Lo anterior podría provocar una presión sobre el recurso especialmente en predios de gran extensión como el caso de Raúl castro que cuenta con amplias extensiones de tierra ubicados en áreas de recarga donde el agua no escasea.

Figura 12: Demanda de agua por actividad pecuaria



Fuente: Autores, 2016

Las actividades que presentan una mayor demanda de agua son el ganado bovino con 76 m^3/año, los búfalos con 55 m^3/año y los caballos con 42 m^3/año, y los animales con menor consumo son las cabras y los pollos con 2,4 y 3,6

m^3/año respectivamente. De igual manera se observa que la mayoría de los predios se tiene un solo tipo de animal en pequeñas cantidades lo que representa un consumo menor de agua, y los predios en donde se tiene animales con diferente propósito pecuario y varias unidades de los mismos presentan un mayor consumo. La demanda de agua está directamente relacionada con el número de animales sin embargo desde la percepción de algunos propietarios la tenencia de animales depende exclusivamente del área tota disponible para tal fin. Lo anterior podría provocar una presión sobre el recurso especialmente en predios de gran extensión como el caso de Raúl castro que cuenta con amplias extensiones de tierra ubicados en áreas de recarga donde el agua no escasea.

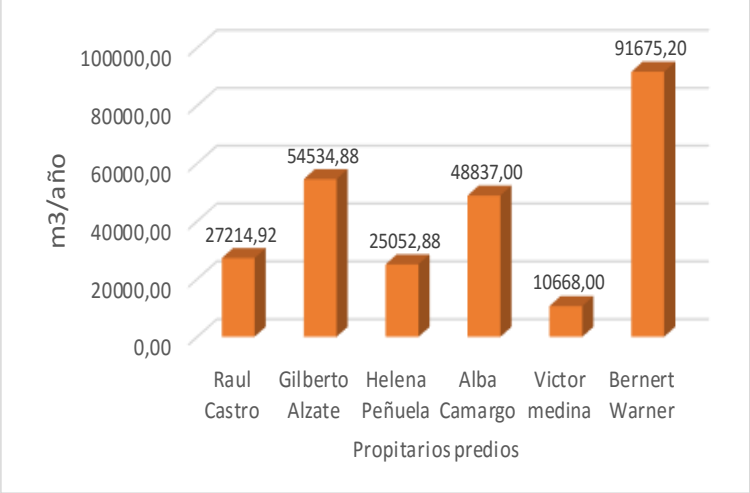
Para el módulo de consumo de la actividad piscícola se consideró las características físicas de los estanques de almacenamiento de peces.

Tabla 42: Módulos de consumo para la actividad piscícola

Nombre	Área (m2)	Profundidad (m2)	Volumen estanque (m3)	Caudal de entrada al estanque (m/seg)	Demanda (m3/mes)	Demanda (m3/año)
Raúl Castro	898,5	1,5	1347,75	0,00036	2267,91	27214,92
Gilberto Alzate	1408,29	2	2816,57	0,00067	4544,57	54534,88
Helena Peñuela	611,87	2	1223,74	0,00033	2087,74	25052,88
Alba Camargo	1182,2	1,25	1477,75	0,00100	4069,75	48837,00
Víctor medina	457	1	457,00	0,00017	889,00	10668,00
Bernert Warner	2098	2,2	4615,60	0,00117	7639,60	91675,20
Total	6655,86	9,95	11938,41	0,00369	21498,57	257982,88

Fuente: Autores, 2016

Figura 13: Demanda de agua actividad piscícola



Fuente: Autores, 2016

Los consumos por actividad del sector pecuario se relacionan a continuación.

Tabla 43: Demanda total uso de agua para el sector pecuario

Actividad	Pecuaria	Piscícola	Total
Demanda (m3/año)	353,11	257982,9	258335,99

Fuente: Autores, 2016

- Demanda Hídrica Total

  Considerando que el cálculo de la demanda hídrica es la sumatoria de la demanda por sectores económicos, se relaciona la demanda total para cada uno de ellos.

Tabla 44: Demanda hídrica total

Demanda Hídrica	Demanda uso de agua sector domestico	Demanda uso de agua para uso industrial	Coberturas de vivienda ocasional	Demanda uso de agua sector agrícola	Demanda uso de agua sector pecuario	Total
Consumo Promedio/m3 Año	682,2	192	2002,58	245460,23	258335,99	506673

Fuente: Autores, 2016

El sector que presenta mayor demanda de agua es el sector agrícola, continuando con el pecuario, doméstico y por ultimo industrial. Estos resultados se atribuyen a que para el caso particular de la microcuenca la demandad de agua está directamente relacionada con el área de ocupación de cada una de las actividades, en donde a las actividades de carácter agrícola les corresponde 69,47 Ha del área total de estudio.

Oferta Hídrica

- Distribución Temporal

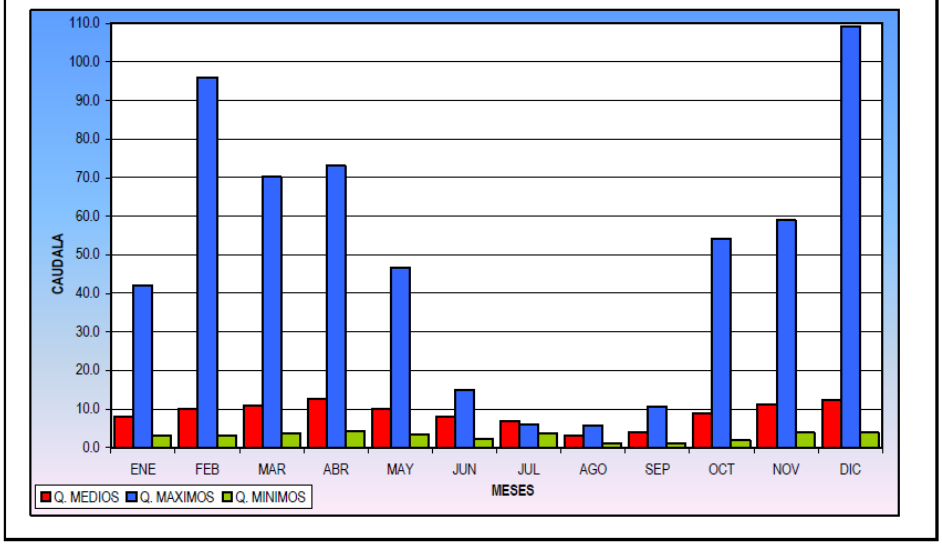
Se seleccionó la estación limnigráficas de Villeta (2306707) como estación de referencia, localizada sobre el río Villeta, aguas abajo del municipio de Villeta en cercanías de la desembocadura del río Dulce, en la parte media de la cuenca del río Tobia, por ser la estación más cercana al área de estudio ubicada dentro de la cuenca a la pertenece esta microcuenca, se infiere que estos presentan una relación directa con el comportamiento de la distribución temporal.

De acuerdo a los registros históricos de caudales mensuales en la estación observándose dos períodos húmedos, el primero de mediados de marzo a abril y el segundo de octubre a diciembre, con caudales de mayor magnitud en el segundo período, durante el mes de diciembre, intercalados por dos períodos secos, el primero en enero y el segundo de mayor duración de junio a septiembre, siendo el de niveles más bajos el segundo, con caudales mínimos para el

mes de agosto. El caudal promedio anual registrado en la estación de Villeta es de 8.91 m3/seg, con máximos promedio para el mes de diciembre de 12.44 m3/seg y mínimos de 3.19 m3/seg registrados en agosto. (CAR, 2012)

Figura 14: Caudales promedios, máximos y mínimos, estación Villeta

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
MEDIO	8.16	10.19	10.82	12.66	10.02	8.12	6.89	3.19	4.15	8.94	11.29	12.44	**8.91**
MAXIMOS	42.09	95.92	70.14	73.07	46.63	14.84	6.05	5.64	10.57	54.14	58.84	109.12	**48.92**
MINIMOS	3.06	3.21	3.69	4.37	3.52	2.24	3.79	1.04	1.01	1.90	3.87	3.92	**2.97**



Fuente: (CAR, 2012)

- Oferta hídrica neta

Tabla 45: Caudal promedio del cauce calculado

Tiempo	Mes	Caudal (L/min)	Caudal (m3/seg)
Seco	Febrero	685,3	0,0114
Lluvia	Abril	2437,67	0,0406
Seco	Julio	297,64	0,005
Lluvia	Octubre	3454,43	0,0576
Seco	Diciembre	799,46	0,0133
Caudal Promedio Mensual		1534,9	0,03
Caudal Promedio Anual		18418,81	0,31
Caudal Ecológico (25%)		4604,7	0,08
Oferta Hídrica anual neta		13814,11	0,23

Fuente: Autores, 2016

Tabla 46: Oferta hídrica neta para condiciones hidrológica secas

Caudal - Oferta	Caudal (L/min)	Caudal (m3/seg)
Caudal promedio mensual condiciones secas (m3/seg)	916,2712058	0,015271187
Caudal promedio anual condiciones secas (m3/seg)	10995,25	0,18
Oferta Hídrica Promedio anual para condiciones secas (m3/seg)	6390,552664	0,106509211
Oferta Hídrica neta para condiciones hidrológica secas en el año 2015	3358874480	3358874,48

Fuente: Autores, 2016

- Índice de uso per cápita

Índice de uso per cápita	No habitantes	Demanda diaria	Demanda Anual	Oferta neta anual	Indicie de uso per-cápita
Demanda total	56	0,15	2847	3358874,48	1179,794338
Ajuste por demanda real	30	0,15	1642,5	3358874,48	2044,976852
Demanda Máxima	35	0,15	1916,25	3358875,48	1752,837824

Fuente: Autores, 2016

- Determinacion Indice de Uso del Agua (IUA).

  Se determino el IUA para la microcuenca a partir de lo resultdos calculados de los prametros de oferta y demanda.

Índice Uso de Agua

Índice de Uso		
Parámetros	Unidades	Valor
Demanda Hídrica (Dh)	(m3/año)	871709,201
Oferta Hídrica (Oh)	(m3/año)	3358874,48
Índice (Dh/Oh) *100	%	25,95241966
Valoración Cualitativa	NA	Alto

Fuente: Autores, 2016

Al realizar la relación porcentual entre la demanda y la oferta se determinó una valoración cualitativa alta para el índice de uso del agua en donde el valor estimado se encuentra en la escala de valoración cualitativa alta.

4.3.3 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

A partir de la cartografía de suelos y la información proporcionada por el estudio se realizó la valoración cualitativa para cada característica de las asociaciones de suelos presentes en la microcuenca. Al finalizar se hizo una ponderación para obtener una valoración generalizada para la asociación de suelos.

- **Asociación Garbanzabal, Conjunto Recreo**

Tabla 47: Matriz de valoración para la regulación hídrica de los suelos de la asociación garbanzabal.

Factor	Característica	Descripción	Valoración
Clasificación suelo	Aquic 229-230 Eutropept 158-159	Suelos saturados por el nivel freático, la precipitación excede a la evotranspiración en la mayoría de los meses del año	5
Régimen Climático	Udico Isotermico	Suelos húmedos, al mayor parte del año, Temperatura media anual ≥15 °C pero ≤22 °C	5
Formación superficial	Textura	Arcillosa a franco arcillosa,	3
	Relieve	Ligeramente ondulado- ondulado	3
	Pendiente	3-12 %	3
	Drenaje	Drenaje externo medio	4
Suelo, perfil geo-pedológico	Drenaje	interno lento, natural imperfecto, hidro-morfismo el cual es causado por el aporte de agua casi permanente de las partes altas de las vertientes	5
	Textura	Arcillosa, texturas moderadamente finas a finas	4
	Estructura	Estructurados en bloques angulares y subangulares	4
	Consistencia	En húmedo friable en mojado pegajosa y plástica	4
	Porosidad	Abundantes poros medios a finos hasta los 75 cm profundidad, pocos poros finos en adelante	3
	Naturaleza Fracción de arcilla	Material parental matriz arcillosa, Porcentaje arcilla de 56 a 64%	4
	Profundidad	120 cm	4
Promedio			4

Fuente: Autores, 2016

- **Asociación Loma Larga (LG) Conjunto Loma Corta (tipic Dystropept)**

Tabla 48: Matriz de valoración para la regulación hídrica de los suelos de la asociación garbanzal.

Factor	Característica	Descripción	Valoración
Clasificación suelo	tipic Dystropept 158	Inseptisoles, Suelos saturados por el nivel freático una parte del año	4
Régimen Climático	Udico Isotermico	Suelos húmedos, al mayor parte del año, la precipitación excede a la evotranspiración en la mayoría de los meses del año Temperatura media anual ≥15 °C pero ≤22 °C	4
Formación superficial	Textura	Arcillosa a franco arcillosa	3
	Relieve	Plano inclinado, posición ladera	3
	Pendiente	12-25 y 25-50 %	2
	Drenaje	Drenaje externo excesivo, con evidencias de erosión, con escurrimientos difusus y deslizamientos locales.	2
Suelo perfil geo-pedológico	Drenaje	interno medio, natural bien drenado,	3
	Textura	Arcillosa, fina media moderada	4
	Estructura	Estructurados en bloques angulares	3
	Consistencia	En húmedo friable a firme, en mojado ligeramente pegajosa y plástica	3
	Porosidad	pocos poros medios a finos hasta los 33 cm profundidad, abundantes poros finos en adelante	3
	Naturaleza Fracción de arcilla	Arcillas provenientes de la meteorización de lutitas, Porcentaje arcilla de 39%	4
	Profundidad	160 cm	3
Promedio			3

Fuente: Autores, 2016

- **Misceláneo Rocoso (MR)**

Se encuentra en áreas de relieve muy escarpado, afloramiento rocoso de areniscas y pleaners, cornizas con formas muy escarpadas con afloramiento rocoso poca o nula vegetación. Por las características principalmente de la pendiente mayor a 100% y el relieve escarpado de la asociación se le asigna la menor categoría de capacidad de regulación hídrica.

- Capacidad de retención y regulación hídrica del suelo. (Ver anexo, Mapa 11Capacidad de retención y regulación del suelo).

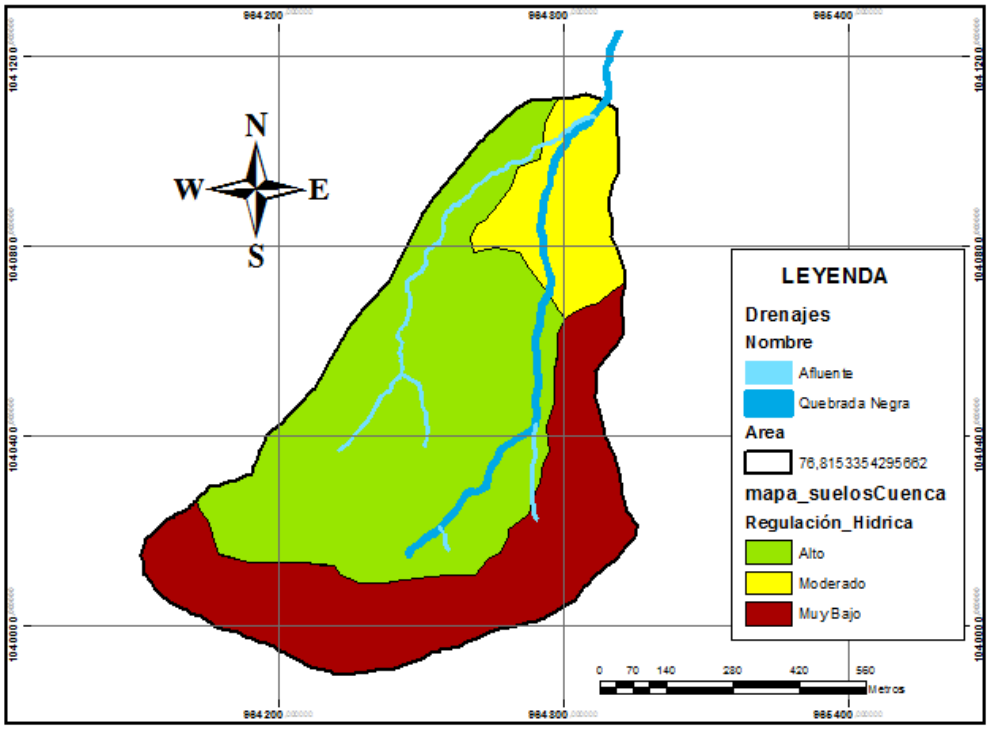
Se asignó la categoría de valoración a cada asociación y se espacializó la Información.

Tabla 49: Categorías para la capacidad de retención y regulación hídrica del suelo

Asociaciones de suelos, categorías para la regulación hídrica		
Asociación	**Valoración**	**Categoría**
Asociación Garbanzabal, Conjunto Recreo	4	Alta
Asociación Loma Larga (LG) Conjunto Loma Corta	3	Moderada
Misceláneo Rocoso (MR)	1	Muy baja

Fuente: Autores, 2016

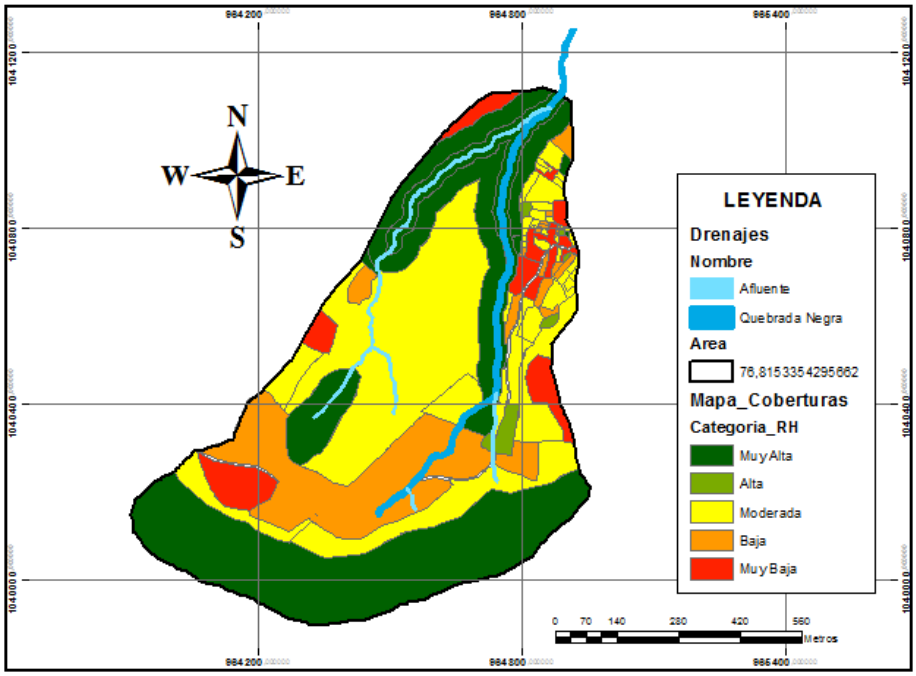
Figura 15: Capacidad de retención y regulación hídrica del suelo en la microcuenca.



Fuente: Autores, 2016

- Capacidad de retención y regulación hídrica de las coberturas vegetales.
- Se evaluó cada una de las coberturas vegetales mapificadas para la cuenca y se le asignó una valoración cualitativa de acuerdo a sus características. (Ver anexo, Mapa 11 Capacidad de retención y regulación de las coberturas vegetales).

Figura 16: Capacidad de retención y regulación hídrica de las coberturas vegetales en la microcuenca



Fuente: Autores, 2016

Finalmente se aplicó la matriz de decisión para la regulación hídrica que relaciona la información geo-pedológica y de coberturas vegetales.

Tabla 50: Matriz de decisión para la regulación hídrica

RH Suelo	RH Cobertura				
	Muy Alta	Alta	Moderada	Baja	Muy Baja
Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Moderada	Moderada
Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja
Moderada	Alta	Modera	Moderada	Baja	Baja
Baja	Moderada	Modera	Baja	Baja	Muy Baja
Muy Baja	Moderada	Modera	Baja	Muy Baja	Muy Baja

Fuente: Autores, 2016

4.3.4 Índice de Vulnerabilidad por Disponibilidad de agua (IVDA)

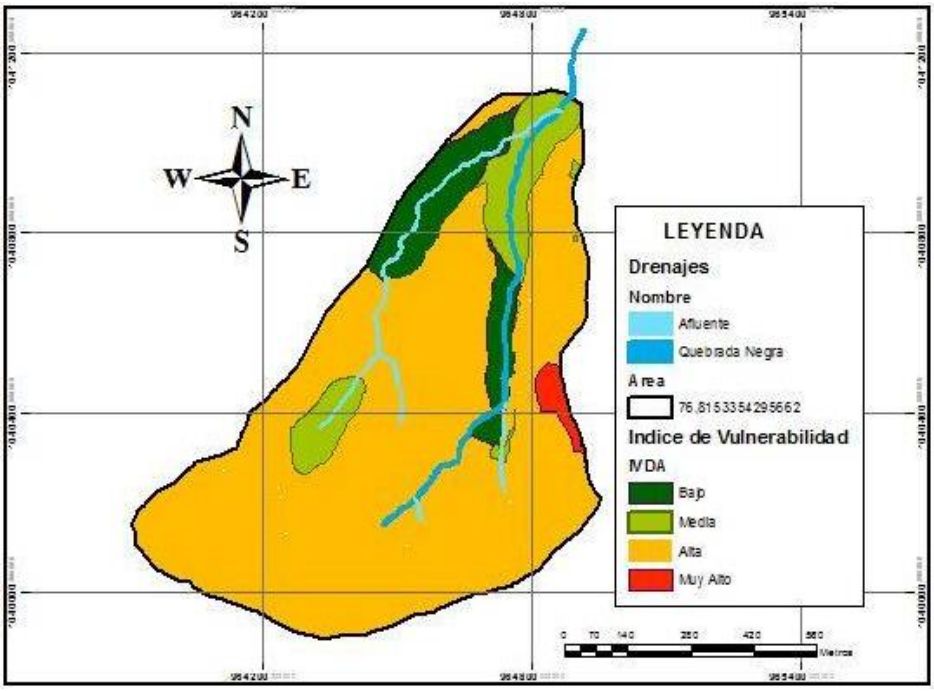
Una vez realizada la matriz de relación de los rangos de evaluación cualitativos del índice de uso del agua (IUA) y el índice de regulación y retención hídrica (IRH) se determinó que para el caso de estudio de la microcuenca Quebrada negra el IVDA es alto. (Ver anexo, Mapa 13 Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua).

Tabla 51: Matriz de relación Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua

Calificación cualitativa	Índice de Vulnerabilidad por Disponibilidad de agua - IVDA			
	IRH - Alto	IRH -Moderado	IRH - Bajo	IRH - Muy bajo
IUA - Muy Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA -Alta	Medio	Alto	Alto	Muy alto
IUA - Moderado	Medio	Medio	Alto	Alto
IUA -Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
IUA -Muy Bajo	Muy Baja	Bajo	Medio	Medio

Fuente: Autores, 2016

Figura 17: Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad de agua



Fuente: Autores, 2016

La microcuenca presenta en un 79% de su área una vulnerabilidad por disponibilidad de agua alta.

Tabla 52: Resultados Índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua

IVDA	Área	% Área
Muy Alto	0.86	1.2
Alta	57.14	79.7
Media	6.91	9.6
Bajo	6.76	9.4
Total	71.67	100.00

Fuente: Autores, 2016

5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Revisión documental

Esta revisión documental permite identificar los desafíos que debe enfrentar la gestión del agua en la región para alcanzar una adecuada seguridad hídrica, dichos desafíos se relacionan con los acelerados cambios sociales, económicos y políticos que experimentan las sociedades de América Latina y el Caribe: i) una disponibilidad de agua que sea adecuada para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción; ii) la capacidad para acceder y aprovechar dicha agua de forma sustentable y manejar, de manera coherente, las interrelaciones entre los diferentes sectores; y iii) un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados al agua.

En el contexto mundial América Latina y el Caribe frecuentemente es citada como una zona del planeta en la cual existe abundancia de recursos hídricos, en promedio la región presenta una precipitación media anual de 1600 mm y una escorrentía media de 400 mil m3/s concentra casi un tercio de los recursos hídricos mundiales. Sin embargo, su población equivale al 6% y su superficie al 13% de los totales mundiales. Ello significa que mientras su disponibilidad media de agua por habitante alcanza aproximadamente a 22 mil metros cúbicos por habitante por año, a nivel mundial dicho valor es de sólo un poco más de 6 mil. Estos valores resultan aún más notables si se compara con continentes como Asia, el cual con una precipitación media anual de 650 milímetros dispone de una dotación por habitante de menos de 3 mil metros cúbicos por habitante por año (Willaarts, Garrido y Llamas, 2014).

Un segundo aspecto se refiere a la disponibilidad futura de agua en las fuentes de suministro es decir asegurar la disponibilidad de recursos hídricos en las fuentes al respecto, surgen los siguientes desafíos: i) intensificación de condiciones de aridez e incertidumbre climática; ii) cambios de uso del suelo y degradación de las cuencas; y iii) incremento de las demandas. La situación se complica por la debilidad generalizada de sistemas de monitoreo y control de extracciones de aguas desde las fuentes naturales.

Lo anterior permite analizar que un concepto integrador de la seguridad hídrica consiste en tener:

• Una disponibilidad de agua que sea adecuada, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción.

• La capacidad institucional, financiera y de infraestructura para acceder y aprovechar dichos recursos de forma sustentable y manejar las interrelaciones y externalidades entre los diferentes usos y sectores, de manera coherente.

• Un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados a los recursos hídricos.

Asimismo se reconocen los aportes y deficiencia en variables y conceptos desarrollados, dejando entre ver que no hay una metodología más completa que otra ya que se considera que todos los métodos revisados están sujetos a mejoras y dejan la puerta abierta a continuar con la construcción de parámetros y variables que mejor representen las necesidades, dinámicas sociales, sean flexibles y adaptables ante los constantes cambios que presentan los territorios latinoamericanos. De igual manera permiten acuñar términos, variables y conceptos que nutren de una manera sistemática la construcción del índice de vulnerabilidad hídrica.

De esta manera se presenta la categorización de las metodologías de la más completa a la menos.

- Chile, **(*gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile*):** Considera los parámetros más relevantes relacionados con la vulnerabilidad hídrica (componente ambiental, productivo y socioeconómico). Aunque se considera un índice complejo de aplicar varios de sus parámetros son de fácil adaptación. Se consideran aportes significativos el uso del índice de retención de humedad y las condiciones hidroclimaticas para los meses más secos del año. Es un índice completo que considera los parámetros más relevantes relacionados con la vulnerabilidad hídrica (componente ambiental, productivo y socioeconómico). Aunque se considera un índice complejo de aplicar varios de sus parámetros son de fácil adaptación. Se consideran aportes significativos el uso del índice de retención de humedad y las condiciones hidroclimaticas para los meses más secos del año.

- México, **(vulnerabilidad de las fuentes abastecedoras de agua potable):** De acuerdo a los sub índices que se evalúan se aprecia que los factores a considerar hacen parte del entorno o todo aquello que rodea al recurso hídrico (infraestructura). Se le da un gran peso a los aspectos socioeconómicos relacionados con el abastecimiento de agua (socioeconómicos). Se evalúan parámetros ambientales que afectarían drásticamente la disponibilidad el recurso hídrico (erosión, fuentes de contaminación, usos del suelo).

- Colombia, ***(índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua):*** Las variables utilizadas en uno de los componentes del índice guardan la correlación entre demanda y oferta. Se observa una ausencia de información para la aplicabilidad del método. El método de cálculo es limitado para ser aplicado a nivel micro regional por la dificultad para capturar la información, por lo que se recomienda considerar otras variables de peso como las coberturas naturales y el suelo.

- Nicaragua, ***(índice de escasez):*** Se considera la metodología más incompleta ya que solo evalúa las condiciones hídricas (demanda y oferta) y no considera otros parámetros relevantes (socioeconómico y físicogeograficos, entre otros) lo que limita el cálculo de la vulnerabilidad a un solo aspecto. Los parámetros son aplicables a una escala de trabajo amplia. Se consideran rangos de evaluación amplios en cuanto a los parámetros que componen el método de cálculo. El índice tiene más ventajas en su aplicación en zonas con oferta de agua subterránea. La información requerida para algunas variables (consumo de hidroeléctricas, oferta de agua subterránea y demanda para riego) es de difícil acceso e implica amplios recursos técnicos y económicos.

- México, ***(vulnerabilidad ante las sequias):*** Este índice es aplicable en procesos de planeación haciendo un análisis prospectivo a partir de los datos actuales disponibles. Se da gran importancia a oferta de agua subterránea tanto en términos de diagnóstico con la explotación y subexplotacion de acuíferos, como en términos de adaptación con la disponibilidad de agua como única fuente de abastecimiento.

Se observa que de manera general las metodologías propuestas para los diferentes países estudiados no se enfocan en evaluar la disponibilidad estrictamente dicha de agua en términos de cantidad y calidad, el análisis va más allá y se enfoca en comparar dicha disponibilidad con los requerimientos tanto en términos sociales como económicos y ambientales. Lo anterior permite percibir que se entiende por vulnerabilidad hídrica más como un problema social y no hidroclimatico.

Un aspecto siempre presente en las definiciones es la existencia del riesgo. Ello responde a que, por su naturaleza, el recurso hídrico es un recurso variable, en términos temporales y espaciales, y sujeto a eventos extremos, situación que se ve agravada en un contexto en el cual el cambio climático se presenta como uno de los desafíos estratégicos globales de mayor impacto (CEPAL, 2016). A lo anterior, se debe agregar la incertidumbre relacionada con los procesos sociales económicos y políticos, que inciden en la demanda, en la oferta y en la gestión de los recursos hídricos.

Entre estas definiciones analizadas el caso México destaca que la seguridad hídrica también considera los medios necesarios para acceder al agua. Esto hace referencia a que más allá de la disponibilidad de agua, pueden presentarse situaciones de falta de acceso al agua por problemas relacionados con una insuficiente gestión, o falta de financiamiento o infraestructura. Esta consideración es relevante en temas tales como el suministro de agua potable y saneamiento a las poblaciones más pobres, donde se ha destacado la existencia de una escasez hídrica y una más importante escasez económica y de medios para hacer asequible el recurso hídrico existente a la población.

El caso del aprovechamiento de las aguas subterráneas en los países analizados es un tema que tiene gran relevancia pero que a su vez presenta grandes retos de estudio y diversas problemáticas que son comunes en cada país:

- Se trata de un recurso que frecuentemente presenta ventajas para su uso ya sea domestico agropecuario o industrial. En primer lugar, por su localización cercana a las demandas, haciendo innecesaria la adecuación de grandes infraestructuras de captación, conducción y regulación, así como de las organizaciones para gestionarlas. Además, tiene la ventaja de su baja variabilidad en el corto y mediano plazo, y de estar libre de sedimentos y contaminantes, lo que simplifica su uso.

- La gestión de las aguas subterráneas y su control es algo difícil de manejar, principalmente el control de las extracciones, situación que frecuentemente facilita el uso al margen de cualquier monitoreo y la expansión de obras de captación clandestinas. En este contexto, las demandas pueden incrementarse de forma espontánea prácticamente sin límites. Lo anterior se ve agravado por el retraso de Latinoamérica y el Caribe en estructurar adecuados sistemas de gestión de los acuíferos. (CEPAL 2016)

- Los impactos de la sobreexplotación se presentan en forma muy retardada en el tiempo y resulta difícil la identificación precisa del factor causante (el responsable), de modo que se toma nota del problema una vez que las actividades económicas que dieron origen se encuentran completamente consolidadas, resultando extremadamente difícil revertirlas.

- Muchas veces existe un conocimiento muy precario de las verdaderas capacidades de los acuíferos y de su recarga, por la propia naturaleza del recurso y las dificultades técnicas para evaluarlo con precisión.

- El conocimiento técnico de los usuarios y su comprensión de la naturaleza de los recursos hídricos que utilizan es muy débil, en comparación con la que habitualmente disponen sobre la gestión de las aguas superficiales. Así, en general, no están en condiciones de tener una actuación proactiva para evitar los problemas de sobre explotación.

- En LAC, en general, no existen políticas públicas de los organismos responsables en función de monitorear a estos déficits a partir, por ejemplo, de dar apoyo técnico a los actores que se encuentran en esta situación.

Adaptaciones a los métodos de cálculo

A continuación, se presenta el análisis de las ventajas de uso y la aplicabilidad de las variables seleccionada para la construcción del método.

Tabla 53: Adaptación de parámetros, Índice de Uso de Agua -Ventajas de uso

Parámetro	Variables	Ventajas de uso	
IUA	Dh: demanda hídrica sectorial	El parámetro incluye los consumos de los sectores más representativos del territorio.	
		ETP: Evotranspiración	Utiliza variables de fácil acceso, fue diseñado para cuencas pequeñas, brinda información importante en cuanto a los usos recomendado.
		DP: Demanda pecuaria	Permite realizar una ponderación para las fases de la cadena productiva. Facilita identificar las actividades productivas más impactantes.
	Oh: Oferta hídrica	Permite armar la serie de medición a necesidad de los investigadores. Ante la ausencia de información y de estaciones limnigráficas se pueden obtener los datos con métodos de medición sencillos. Considera las condiciones hidroclimaticas secas del periodo más seco del año.	
		Periodo seco	Permite identificar la oferta del sistema en periodos extremos de escasez haciendo una correlación de la variación porcentual entre condiciones hidroclimaticas extremas y normales, lo cual contribuyendo en los procesos de planeación y prevención en la gestión del riesgo.
		Q: Caudal ecológico	Garantiza el volumen de agua mínimo requerido para que el sistema hídrico siga funcionando, contribuyendo a la conservación del recurso. Considera la regulación hídrica de la zona de estudio para determinar el % de reducción.

Fuente: Autores, 2016

Tabla 54: Adaptaciones de parámetros, Índice de Regulación y retención hídrica (IRH) - Ventajas de uso

Parámetro	Variables	Ventajas de uso
IRH	Crs: Capacidad de regulación del suelo	A diferencia de otros métodos considera la cuenca como un sistema integral y su aplicación no va dirigida solo al cauce principal, sino que establece una correlación de todos los factores edafológicos que componen una cuenca.
	Crc: Capacidad de regulación de las coberturas vegetales	Se considera coberturas naturales y cultivos; facilita la interpretación y análisis de los resultados; brinda herramientas para la formulación de estrategias de desarrollo micro regional; visibiliza problemas socioeconómicos y conflictos de uso.
V. de la infraestructura		Permite establecer puntos críticos en la red de abastecimiento evaluando la eficiencia en la prestación del servicio; al considerarse se le da un peso mayor a la variable de consumo humano. Permite comparar entre las redes de abastecimiento.
Grado de explotación de acuíferos		Representan una reserva ante condiciones severas de escases

Fuente: Autores, 2016

Al comparar las acepciones a nivel internacional con la seguridad por el IDEAM se hace evidente que de manera reiterativa las variables relacionadas con la sostenibilidad ambiental tienes una gran importancia y peso en los métodos de cálculo algo que no sucede en la metodología aplicada para Colombia.

Validación de adaptaciones

Tabla 55: Adaptaciones de parámetros, Índice de Uso de Agua (IUA) - Aplicabilidad en el estudio de caso

Parámetro	Variables	Aplicabilidad en el estudio de caso	
IUA	Dh:Demanda hídrica sectorial	Aplicable a pequeña escala y permite comparar los resultados obtenidos entre consumos.	
		ETP: Evotranspiración	Una mayor aproximación a las dinámicas hidroclimaticas del territorio, al relacionarse consigue una evaluación más directa de la ETP potencial vs radiación solar.
		DP: Demanda pecuaria	Mediante un formato sencillo de recolección de datos se puede lograr una aproximación de las demandas de este sector.
	Oh: Oferta hídrica	Se determina mediante el método de aforo área-velocidad, se puede ajustar a las condiciones del estudio (temporalidad climática, número de visitas a campo, personal disponible para el estudio (apoyo técnico).	
		Periodo seco	Al presentarse periodos bimodales de temporalidad climática se puede estimar o hacer una aproximación de la oferta del sistema hídrico. Información disponible y de fácil obtención.
	Q: Caudal ecológico		Es una variable fácil de determinar ya que obedece a un % de la oferta neta.

Fuente: Autores, 2016

Tabla 56: Adaptaciones de parámetros, Índice de Regulación y retención hídrica (IRH) - Aplicabilidad en el estudio de caso

Parámetro	Variables	Aplicabilidad en el estudio de caso
IRH	Crs: Capacidad de regulación del suelo	Se puede determinar a partir de un estudio semidetallado de suelos, considerando las características de la microcuenca es imperante considerar una variable asociada a suelos.
	Crc: Capacidad de regulación de las coberturas vegetales	Fácil aplicación a pequeña escala; requiere de información actualizada y semidetallada que se puede obtener a través de un inventario forestal o caracterización del área de estudio; es un indicador sensible lo cual permite visibilizar cambios en el territorio y tendencias de ocupación.
V. de la infraestructura		Permite establecer puntos críticos en la red de abastecimiento evaluando la eficiencia eficiencia en la prestación del servicio; al considerarse se le da un peso mayor a la variable de consumo humano.
Grado de explotación de acuíferos.		Los acuíferos libres corresponden a una fuente de abastecimiento importante para el área de estudio.

Fuente: Autores, 2016

Estimación del IDVA: La microcuenca tiene unas características muy marcadas en donde por los costados escarpados sur y oriental escurre toda el agua condensada y precipitada que desciende por la pendiente hacia el nororiente.

Los suelos de las áreas escarpadas presentan regulación hídrica baja donde el agua escurre rápidamente y se almacena en las laderas ya que estos segundos corresponden a suelos saturados por el nivel freático donde la precipitación excede a la evotranspiración en la mayoría de los meses del año en la parte media de la cuenca se presentas pendientes moderadas y en la parte baja las pendientes aumentan lo que influye significativamente en la capacidad de retención y regulación hídrica de la microcuenca.

En cuanto a las coberturas la microcuenca presenta algunas áreas de conservación principalmente en las partes montañosas y la ronda de los causes, las áreas consideradas de recargas de acuíferos en su mayoría están cubiertas por cultivos permanentes de caña y pastos para ganadería extensiva; en la cuenca media y en la cuenca baja se observa una presión por densidad poblacional alta donde es evidente los procesos de parcelación y las coberturas principalmente corresponden a cultivos permanentes y semipermanentes de frutales, se destaca también el uso de los afloramientos de agua para desarrollar actividades pecuarias de piscicultura.

Una de las condiciones que más afecta la capacidad de retención y regulación hídrica en la microcuenca es el déficit o ausencia de cobertura ya que cualquier tipo de cobertura vegetal de suelo absorbe la mayoría de la energía de las gotas de agua de lluvia que caen sobre ella y con el tiempo esta agua de lluvia alcanza el suelo; en estas condiciones

su capacidad para desintegrar los agregados del suelo y desprender las partículas finas es enormemente reducida, por lo anterior, hay poco o ningún sellado de los poros de la superficie del suelo por las partículas desprendidas y poca deposición de las partículas del suelo que pueden formar una capa impermeable en la superficie.

Los efectos de conservación de los bosques son debidos no tanto a la presencia de los árboles, sino por la capa de hojas caídas, ramas grandes y pequeñas y cualquier vegetación de bajo crecimiento. Si la superficie del suelo no ha sido dañada por el pisoteo del ganado, se escurrirá menos agua de lluvia y se infiltrará más dentro del suelo. Además, la cobertura que hace contacto con el suelo es inmediatamente accesible a los microrganismos del suelo y puede estimular su actividad. De esta forma, probablemente se forma un mayor número de bioporos, llevando a una más rápida infiltración y percolación. Esta es la razón por la cual la extracción de la cobertura vegetal y las alteraciones principales del suelo, tales como la labranza o la incorporación de residuos, mantillos u otras materias orgánicas, reducen drásticamente esos efectos positivos dejando un suelo descubierto vulnerable a los impactos de las gotas de agua de lluvia, y la consiguiente escorrentía y erosión.

CONCLUSIONES

Las metodologías propuestas para los cuatro (4) países estudiados no se enfocan en evaluar la disponibilidad estrictamente dicha de agua en términos de cantidad y calidad, el análisis en todos los casos va más allá y se enfoca en comparar dicha disponibilidad con los requerimientos tanto en términos sociales como económicos y ambientales. Lo anterior permite que se entiende por vulnerabilidad hídrica como un problema social además de uno hidroclimatico.

Se determina que la revisión bibliográfica de las metodologías propuestas por los países estudiados fueron un punto determinante en las adaptaciones propuestas por la heterogeneidad de las variables estudiadas y consideradas en la construcción del método de cálculo del índice, en donde las metodologías se diferenciaban por abordar la vulnerabilidad hídrica desde contextos totalmente diferentes teniendo como eje transversal la consideración de demanda y oferta.

Los desafíos que debe enfrentar la gestión del agua en la región para alcanzar una adecuada seguridad hídrica involucra variables que predominan en los casos de estudio que están relacionados con i) presión en los recursos por dinámicas socioeconómicos; ii) la disponibilidad de agua para garantizar un desarrollo productivo sostenible; iii) la conservación de cuerpos de agua en un estado compatible con el medioambiente; v) análisis de la infraestructura de abastecimiento; vi) aprovechamiento de aguas subterráneas; vii) capacidad de adaptación de los sistemas naturales y la población.

Los rangos de validación deben contener tres aspectos fundamentales: i) visibilizar peso de cada variable; ii) que sean flexibles y/o modificables para garantizar la sensibilidad de las variables lo que hace que el método sea adaptable a múltiples condiciones micro regionales y iii) que permita relacionar variables cualitativas y cuantitativas.

La construcción de los índices a través de matrices de relación facilita la interpretación de la información y formulación de adaptaciones.

La información requerida en la construcción de cada una de las variables de la ecuación formulada existe y están disponibles a nivel nacional y los métodos de cálculo de los factores que componen las variables están validados por autoridades ambientales lo que garantiza la factibilidad de su estimación. De igual manera permite unificar gran cantidad de variables de múltiple naturaleza formulando una adaptación metodológica que brinda aportes a la GIRH.

Las variables definidas para la construcción del método de cálculo presentan una gran aproximación a la realidad del territorio en donde las condiciones socioeconómicas y físicogeograficas identificadas en el proceso son una representación explicita de las dinámicas de la microcuenca.

La cartográfica representa un elemento integrador de los componentes ambiental, productivo y socioeconómico de tal manera que se genere una construcción de estrategias y medidas que permitan mejorar las condiciones multidimensionales para una construcción en la prevención de la vulnerabilidad.

Aunque existen factores físicos que favorecen la disponibilidad de agua en la micro cuenca Quebrada negra existen otros que influyen mayormente en la vulnerabilidad hídrica i) conflictos por uso pecuario y agrícola; ii) aumento de la demanda; iii) falta de planeación institucional; iv) deficiencia en la infraestructura de la distribución; v) captación desordenada; vi) variabilidad climática multianual y temporalidad climática bimodal (reducción del 40% para el año

2015); vii) presión en áreas estratégicas para la conservación; viii) reducción de caudales (transición de cause permanente a intermitente).

La aproximación en adaptaciones metodológicas se visibiliza en una ecuación que se construyó con parámetros que se consideraron relevantes en la representación de la realidad de la micro región facilitando un análisis integral de las condiciones de vulnerabilidad de la fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta en el abastecimiento de agua y formular alternativas de manejo.

RECOMENDADCIONES

La revisión de información bibliográfica debe ampliarse a una escala global lo que permita tener varios referentes en el desarrollo de metodologías aplicables en condiciones hidroclimaticas diversas, con lo que se genere una heterogeneidad en variables de carácter multidimensional para la construcción y aplicación de conceptos metodológicos.

Es importante desarrollar estudios detallados a nivel local o micro regional de los elementos ambientales, lo cual permita hacer una representación más detallada de las dinámicas ambientales y se evidencien las variabilidades por alteraciones físicogeograficas, hidroclimaticas, socioeconómicas entre otras, para lo cual se sugiere complementar con otras metodologías como la huella hídrica azul que permite identificar o medir la demanda del recurso hídrico que no se hace visible en los proceso de producción de un servicio o bien pero que sin embargo altera la disponibilidad del recurso por no ser contabilizada.

Se requiere trabajar en el desarrollo de un monitoreo continuo y completo de los elementos ambientales y el comportamiento hídrico con lo cual se pueda dar una representación más acertada de las dinámicas ambientales y permita que los rangos de evaluación escogidos sean afinen con la realidad que se quiere representar.

Se sugiere que estos métodos sean expuestos en otros estudios de caso para poder hacer estudios de análisis comparado y se genere continuidad en la investigación lo que mejore el acceso a la información y seguimiento de criterios que permitan definir alertas tempranas de vulnerabilidad hídrica.

De igual manera la propuesta metodológica del estudio, es una puerta de entrada a los siguientes desarrollos futuros: validación de metodologías por medio de la discusión ampliada de los resultados con expertos; ampliación de la metodología a nivel regional; formular una metodología de zonificación ambiental a partir de los resultados obtenidos; incluir criterios de calidad.

En la búsqueda de generar mecanismos que permitan el desarrollo y diseño de políticas territoriales con la participación de los actores locales, el estudio se considera una herramienta pertinente para incentivar la inclusión de la vulnerabilidad hídrica en el sistema nacional de gestión del riesgo, en donde se prioricen el agua para consumo humano, la producción sostenible y caudal ecológico como aspectos determinantes en el desarrollo socioeconómico de una sociedad que vela por la seguridad de sus sistemas naturales.

BIBLIOGRAFIA

[1]. Alatorre, N., (2007), La microcuenca como elemento de estudio de la vulnerabilidad ambiental. México DF, México. Recuperado de: www.ine.gob.mx/dgioece/cuencas/descargas/cong_nal_06/tema_03/25_norberto_alatorre.pdf .

[2]. Alburquerque, F. (2006, octubre). Desarrollo territorial rural. Una visión integrada para el desarrollo sustentable. Trabajo presentado en el III Congreso Internacional de la Red SIAL Alimentación y Territorios (ALTER), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Capítulo I. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, IEG Madrid, Andalucía, España.

[3]. Aparicio, F. 2004. Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial Limusa. México, 303 p.

[4]. Aponte, A. y Restrepo Tarquino I. (2005). Modelo conceptual para la toma de decisiones en el sector de abastecimiento de agua, saneamiento básico e higiene. Trabajo de grado, Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad de Valle, Santiago de Cali, Colombia.

[5]. Aponte, N., (2013), Metodología para evaluar la disponibilidad de agua y sus costos bajo los escenarios de cambio climático. México, DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

[6]. Asociación Mundial para el Agua (GWP), Comité de Consejo Técnico (TAC),2000. Manejo integrado de recursos hídricos, TAC Background Papers Nº 4. Recuperado de www.gwpforum.org/gwp/library/TAC4sp.pdf.

[7]. Ávila García, Patricia. Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México Ciencias, Núm. 90, abril-junio, 2008, pp. 46-57 Universidad Nacional Autónoma de México México.

[8]. Boisier, S., (1994). El difícil arte de hacer región. Cuzco, 1995 Centro de Estudios Regionales Andinos “Bartolomé de las Casas”. Perú.

[9]. Bransford, J. Y Stein, B. (1988): Solución ideal de problemas. Barcelona: Labor. Recuperado de: incaprof.com/wp-content/uploads/.../Metodo-Heurístico

[10]. CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe Publicación de las Naciones Unidas. Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe, 2016, Peña H. ISSN 1680-9017. Naciones Unidas.

[11]. Chavalier, Michel (1981) Les phenomenes neo-ruraux. El Espacio Geográfico. 1, Recuperado de https://neorruralidadmx.wordpress.com/neorruralidad-en-lo-rural-urbano/

[12]. CIAMA, (1992), Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente CIAMA (1992) "Declaración de Dublín e Informe de la Conferencia" Dublin, Irlanda, Recuperado de archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/Tac3s.pdf.

[13]. CONAGUA, (2008). Estadisdticas del agua en México 2008. Comisicion nacional del agua. México: Secretaria de medio Ambiente y Recursios Naturales. 233pp

[14]. CONAGUA, (2010), Estadisticca de agua en Mexico Edición 2010,México , DF: Gobierno Nacional de México. Recuperado de: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EAM2010.pdf.

[15]. CONAGUA, (2015), Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales., Mexico, DF: Gobierno Nacional de México. Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015.

[16]. CONAGUA. 2000a. Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2020 de la Región IX, Golfo Norte. Comisión Nacional del Agua, México, D.F. CONAGUA. 2000ª.

[17]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2015). Sistema Estadístico Nacional. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/sen/lineamientos/DSO-020-LIN-01-V2.pdf

[18]. Downing, P.E., Jiang, Y., Shuman, M. and Kanwisher, N. (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body. Science, 293, 2470-2473.

[19]. ECOVERSA, (2008),. Primer informe indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el cambio climático. Programa Conjunto de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano: Corporación ECOVERSA para Instituto de meteorología y estudios ambientales IDEAM. Bogotá, Colombia.

[20]. ECOVERSA, (2009), segundo informe indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el cambio climático. Programa Conjunto de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano: Corporación ECOVERSA para Instituto de meteorología y estudios ambientales IDEAM. Bogotá, Colombia.

[21]. ECOVERSA, (2010),. tercer informe indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el cambio climático. Programa Conjunto de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio

Climático en el Macizo Colombiano: Corporación ECOVERSA para Instituto de meteorología y estudios ambientales IDEAM. Bogotá, Colombia.

[22]. Escolero, O., Martinez S., Kralisch S. y Perevochtchikova M., (2009). Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de laciudad de México en el contexto de cambio climático, Informe final, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

[23]. FAO (Organización para la Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas) (2016), FAOSTAT, Roma. (2015), AQUASTAT, División de Tierras y Aguas.

[24]. FAO. Gestión Del Riesgo De Sequía Y Otros Eventos Climáticos Extremos En Chile. 2010. Meza. L.; Corso S.; Soza, S. Chile Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Vitacura. Santiago, Recuperado Chilewww.fao.cl, Ofi cina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA, Ministerio de Agricultura de Chile.

[25]. García, H., (2011). caracterización de la funcionalidad ambiental de los sistemas de producción rural de la vereda arracachal municipio de san antonio del tequendama. bogotá, d.c.: pontificia universidad javeriana.

[26]. GWP y TAC., (2000). Asociación Mundial para el Agua (GWP) y Comité de Consejo Técnico (TAC) (2000). Manejo Integrado de Recursos Hídricos. Background Papers N°4. En: Conflictos en el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos: "la Crisis de la Gobernabilidad y los Usuarios del Agua" de X. Cazorla, Santiago de Chile, 2003.

[27]. GWP, 2015. Tool Box for Integrated water Resources Management (2015). Global Water Partnerships. GWP Organization Recuperado de: http://www.gwp.org/en/ToolBox.

[28]. Hubp, L., (1989), Diccionario geomorfológico con equivalentes de los términos de uso más común en alemán, francés, inglés, y ruso: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografia; Coordinación de ciencias, 333 p.

[29]. IDEAM, (2010) Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales, Estudio nacional del agua. Bogotá, Colombia: Instituto de meteorología y estudios ambientales IDEAM. Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales- IDEAM-, Ministerio de Medio Ambiente, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2001). Primera comunicación Nacional ante la conveción Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Bogotá, Colombia. : Instituto de meteorología y estudios ambientales IDEAM.

[30]. IICA, (2000). Jóvenes y nueva ruralidad: Protagonistas actuales y potenciales del cambio. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Nueva Ruralidad. Ciudad de Panamá, Panamá: Serie de Documentos Conceptuales. Hacia una nueva visión de lo rural. En N. Giarracca (Compiladora).

[31]. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (1998). Acuerdo sectorial de competitividad de la cadena de maíz, sorgo, yuca, alimentos balanceados, avicultura y porcicultura. Colombia: IICA y Gobierno de la República de Colombia. (2005). Políticas para la prosperidad rural. San José, Costa Rica: IICA

[32]. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (1998). Acuerdo sectorial de competitividad de la cadena de maíz, sorgo, yuca, alimentos balanceados, avicultura y porcicultura. Colombia: IICA y Gobierno de la República de Colombia. (2002) Desarrollo Sosostenble Microregional recuperado de http://repiica.iica.int/DOCS/B0583E/B0583E.PDF

[33]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2010): Watertask force on indicators, Monitoring and reporting, Final Report, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Nueva york, EEUU.

[34]. IPCC, 2007: Resumen para Responsables de Políticas. En, Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de

[35]. Jiménez, F., (2004). Conceptos básicos. Material del curso de manejo integrado de cuencas hidrográficas I. Turrialba, CR, CATIE. 5 p.

[36]. Jiménez, J., Aguarón, J. y Escobar, M. (2001): Metodología científica en valoración y selección ambiental. Aparecerá en Pesquisa Operacional (Revista de la Sociedad Brasileña de Investigación Operativa).

[37]. Johnson, D. (1998): Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. México: International Thomson Editores. 590p

[38]. Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.124 p.

[39]. Munda, G., Nijkamp, P. & Rietveld, P. (1995). Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems: An illustration of economic-ecological evaluation. Recuperado de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221793E02502

[40]. Organización de las Naciones Unidas ONU., (1987).Nuestro futuro común Nueva York, EE.UU. Recuperado de www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml y www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/ info/U0506189.pdf

[41]. Ortegón, E.; Pacheco, J. y Roura, H., (2005). Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Santiago de Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).

[42]. PBOT Sasaima, (2012), Documento diagnóstico de adaptación al esquema de ordenamiento territorial municipio de Sasaima-Cundinamarca. Recuperado de http://www.minvivienda.gov.co/POTPresentacionesGuias .

[43]. PBOT Sasaima, Plan Básico de Ordenamiento Territorial, Municipio de Sasaima. Sasaima Cundinamarca 2012.

[44]. Philip, L., (1998). Combining quantitative and qualitative approaches to social research in human geography—an impossible mixture? Recuperado de http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=a300261

[45]. púlveda, S. (2001). Desarrollo Sostenible Microregional: Métodos para la Planificación Local. San José .C.R: IICA:UNA:CDT.

[46]. Ramírez, M., (2003). Colombia, potencia hídrica. Bogotá. 15 p. Recuperado de: http://www.sogeocol.edu.co/documentos/06colo.pdf.

[47]. Salo, A. y Hamalainen, R. P. (2010). Multicriteria decision analysis in group decision processes. En: Kilgour, D. M. & Eden, C. (eds.).*Handbook of group decision and negotiation* (pp. 269-300). Dordrech.

[48]. Sánchez, K.; Piedra, A. y Galloway, G. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica [en línea]. International Centes for Tropical Agriculture/ sience 1967: Science to cultive change. Recuperado de http://ciat-library.ciat.cgiar.org: 8080/jspui/handle/

[49]. Sastoque, M. (2014). Una tipologia de los nuevos habitantes del campo: aportes para el estudio del fenómeno neorrural a partir del caso de Manizales, Colombia. Revista de Economía y Sociología Rural.

[50]. Schejtman, A., & Berdegué, J. (2004). Desarrollo Territorial Rural. Debates y temas N°1 Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 3-29.

[51]. Sepulveda, S. (2008). Gestión del Desarrollo Sostenible en Territorios Rurales: Métodos para la Planificación. San José, C.R: IICA.

[52]. Sepúlveda, S., (2008a), Biograma: Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios. San José, Costa Rica: IICA.

[53]. Silvac M. Capital Hidrico Y Usos Del Agua Nicaragua, 2008, Nicaragua. Recuperado en línea en: http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9FAD1FC9E621761405257BA30005437A/$FILE/capitalhidricousosdelagua-nicaragua.pdf

[54]. Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge

[55]. United Nations Educational Scientific and Cultural Organizatión. (2009). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos para el desarrollo, el fortalecimiento de capacidades y el medio Ambiente. Unesco.Org. World Water. Recuperado de: http://webworld.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml

[56]. University Press, Cambridge, Reino Unido

[57]. Villacis, B., (2005), La crisis del oro azul: Un análisis de la sustentabilidad de agua en la ciudad de Quito. Quito, Ecuador: Facultad Latinoamérica de ciencias sociales FLACSO.

[58]. Wambeke, J., (2003). La microcuenca hidrográfica como ámbito de planificación del uso y manejo de los recursos naturales, enfoque Socio¬ Territorial. FAORLC, Austral de Chile. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2000). NuevaRuralidad. Serie de Documentos Conceptuales. Ciudad de Panamá: IICA. Pérez, Edelmira. (2001). Hacia una nueva visión de lo rural. En N. Giarracca (Compiladora),

ANEXOS