

**ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVH) Y
FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARALA MITIGACIÓN DEL
DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502-
01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE.**

MARIA CAMILA OTALORA HERNAN.

JUAN SEBASTIAN HERNANDEZ GAMBOA.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2018

**ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVA) Y
FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARALA MITIGACIÓN DEL
DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502-
01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE.**

MARIA CAMILA OTALORA HERNAN.
JUAN SEBASTIAN HERNANDEZ GAMBOA.

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: ALBERTO PARDO OJEDA.
INGENIERO CIVIL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ D.C – 2018

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., 11 de 2018.



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/col/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Agradecimientos

A Dios por darnos la sabiduría y permitirnos la bendición de cada día para llevar a cabo este proyecto. A mis padres que con su amor y ejemplo son el pilar, mi guía y mi motivación en la vida para ser una mejor versión de mí misma. A la corporación ambiental- CORPOGUAVIO para la cual trabajo porque sin el respaldo y comprensión de mis supervisores no hubiera sido posible emprender el reto de continuar con mi educación especializada. Finalmente, a todas las personas que de uno u otro modo han apoyado mi proceso de aprendizaje dentro y fuera de la universidad.

María Camila Otálora Herran

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	13
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2.1 Antecedentes del problema.....	13
1.2.2 Pregunta de investigación.	15
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 Objetivo general.....	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
2 MARCOS DE REFERENCIA	17
2.1 MARCO GEOGRÁFICO.....	17
2.2 MARCO DEMOGRÁFICO.....	19
3 METODOLOGÍA.....	20
3.1 FASE 1.....	21
3.2 FASE 2.....	22
3.3 FASE 3.....	24
3.4 FASE 4.....	24
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
4.1 MORFOMETRIA.....	27
4.2 OFERTA HÍDRICA.....	28
4.3 DEMANDA HÍDRICA.....	29
4.4 ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA (IRH).....	32
4.5 ÍNDICE DEL USO DEL AGUA (IUA).....	35
4.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO (IVH).....	38
4.7 MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN.....	41
ANEXOS	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. RESUMEN DEL MARCO DE REFERENCIA.	17
FIGURA 2-2. LÍMITES GEOGRÁFICOS Y DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: AUTORES.....	18
FIGURA 3-1. UBICACIÓN DE ESTACIONES FUENTE: AUTORES.	22
FIGURA 3-2. DELIMITACIÓN DE MICROCUENCAS. FUENTE: AUTORES.....	23
FIGURA 4-1. ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA. FUENTE: AUTORES.	34
FIGURA 4-2. ÍNDICE DEL USO DEL AGUA. FUENTE: AUTORES.	37
FIGURA 4-3. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO FUENTE: AUTORES.	40

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1 MUNICIPIOS PERTENECIENTES A LA SUBCUENCA. FUENTE: (CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE SUCRE, 2018).....	18
TABLA 2-2 DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL. FUENTE: (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE ESTADISTICA, 2018)	19
TABLA 3-1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES. FUENTE: AUTORES.....	20
TABLA 3-2. ESTACIONES SELECCIONADAS. FUENTE: AUTORES.....	21
TABLA 3-3. RANGOS Y CATEGORÍAS DEL IRH. FUENTE: (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), 2010)	25
TABLA 3-4. RANGOS Y CATEGORÍAS DEL IUA. FUENTE: (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), 2010)	25
TABLA 3-5. MATRIZ PARA EL CÁLCULO DE IVH. FUENTE: (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), 2010)	26
TABLA 4-1. IDENTIFICACIÓN DE MICROCUENCAS. FUENTE: AUTORES.....	27
TABLA 4-2 DEMANDA DOMICILIARIA. FUENTE: AUTORES	30
TABLA 4-3 DEMANDA TOTAL MUNICIPAL. FUENTE: AUTORES	30
TABLA 4-4 DEMANDA HÍDRICA TOTAL POR MICROCUENCAS. FUENTE: AUTORES.	31
TABLA 4-5 ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA. FUENTE: AUTORES.....	32
TABLA 4-6 ÍNDICE DEL USO DEL AGUA. FUENTE: AUTORES.	35
TABLA 4-7 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO. FUENTE: AUTORES.....	38
TABLA 4-8 MEDIDAS. FUENTE: AUTORES.	41

RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como finalidad determinar los indicadores hídricos con especial interés en el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico a través de la Metodología del IDEAM, en la subcuenca del Arroyo Grande Corozal, que pertenece a la cuenca del río Bajo San Jorge, una vez se analizaron los resultados de los índices se buscó establecer las posibles medidas de adaptación y mitigación, que permitan hacer frente a la problemática más relevante que arrojó el estudio, teniendo en cuenta además que en esta zona se presentan vertimientos de 3 municipios de magnitud considerable (Sincelejo, Corozal y Morroa). Se propuso como técnica para la recopilación de la información la investigación de proyectos similares y comparar los resultados con las series históricas de datos de las estaciones hidrométricas existentes en el área de estudio propiedad de las autoridades ambientales y el IDEAM.

Palabras clave: Indicadores Hídricos, Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, medidas de adaptación y mitigación.

ABSTRACT

The purpose of the proposed project is to determine the water indicators with special interest in the vulnerability index to water shortage through the IDEAM Methodology, in the Arroyo Grande Corozal sub-basin, which belongs to the basin of the Bajo San Jorge river. once the results of the indices are analyzed, it will be sought to establish the possible adaptation and mitigation measures, which will allow facing the most relevant problems that the study throws, taking into account that in this zone there are sanitary discharges of 3 municipalities of considerable magnitude (Sincelejo, Corozal and Morroa). It is proposed as a technique for the collection of information the investigation of similar projects and to compare the results with the historical data series of the existing hydrometric stations in the study area owned by the environmental authorities and the IDEAM

Keywords: Water Indicators, Vulnerability to water shortage, adaptation and mitigation measures.

INTRODUCCIÓN

Colombia tiene el privilegio de encontrarse entre uno de los países con mayor cantidad de recursos hídricos en el planeta. Cuenta con 6 tipos de aguas como son: aguas lluvias, aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas termo minerales, aguas marinas y oceánicas y aguas de alimentación glacial. Gracias a su ubicación geográfica y en conjunto con las condiciones fisiográficas del terreno, presenta una precipitación anual de más de 3000 mm promedio al año, lo que representa una significativa abundancia hídrica comparada con el nivel promedio de lluvias mundial que es de 900 mm al año y con el de Sur América que solo llega a los 1600 mm al año (Marín Ramírez, 2003).

En 1990, Colombia era el cuarto país con mayor riqueza hídrica en el mundo, a el 2017 ha caído 20 puestos en ese 'ranking' ecológico. Siendo ahora el puesto 24, problemas como la deforestación, aumento de la minería ilegal y el cambio climático, han convertido ríos, quebradas y arroyos en cicatrices áridas. Según un informe del Foro Económico Mundial (WeForum), el mal manejo de las aguas presenta en Colombia, la ubican en la lista de países que a mediados de este siglo sufrirían por escasez de agua.

Según el Estudio Nacional del Agua de 2014 (ENA), los resultados de las estimaciones del Índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento (IVH), que denota el grado de fragilidad de la cuenca hidrográfica para mantener una oferta, sugieren que para condiciones hidrológicas promedio de los 318 municipios, 8 cabeceras municipales del país presentan una categoría de vulnerabilidad alta, 3 de ellos en el departamento de Boyacá y uno en Cundinamarca, además de Pasto y Santa Marta. En la categoría de vulnerabilidad media se identifican 53 cabeceras municipales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2014) .

La subzona Bajo San Jorge - La Mojana, de la zona Bajo Magdalena- Cauca está catalogada como de categoría alta vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, en una superficie que representa el 67% del territorio de la zona del río San Jorge. Esta categoría se presenta debido a un alto potencial de contaminación y una alta presión sobre los ecosistemas.

El Arroyo Grande Corozal, ha presentado serios problemas por la gran contaminación ante el vertimiento de las aguas negras de Sincelejo, Corozal y Morroa, convirtiéndose en un riesgo potencial para el acuífero de Morroa, adicionalmente el arroyo ha disminuido en los últimos años en más de un 50%. Hoy comprende 67.665.9 ha, encerradas por una divisoria de agua o límite de la Cuenca, con una longitud de 194.5 km.

El presente proyecto se centró en esta última problemática presentada en la subcuenca del Arroyo Grande Corozal, en donde se analizó las series históricas de datos de las estaciones hidrométricas existentes en el área de estudio propiedad de CARSUCRE, CORPOMOJANA, así como la información de oferta y demanda contenida en el estudios previos; de otra parte el cálculo del índice de vulnerabilidad Hídrica se realizó a través de la Metodología del Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para recomendar estrategias de adaptación y o mitigación de acuerdo con los resultados obtenidos.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

Por el contexto problemático en el que se desarrollará este trabajo de investigación suscrito alrededor de la aplicación de las herramientas Arc-Gis y HEC-HEMS, en la Subcuenca Arroyo Grande Corozal, con el fin de que con resultados de la modelación se puedan caracterizar el grado de vulnerabilidad ante el desabastecimiento hídrico superficial, la temática mencionada anteriormente se ajusta en la línea de “Saneamiento de comunidades”, aprobada por la Universidad Católica de Colombia.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Antecedentes del problema

La disponibilidad del recurso hídrico ha tomado gran importancia en los últimos años a nivel mundial, dadas las múltiples problemáticas que se han intensificado por diferentes variables, esto ha promovido el estudio para la conservación y recuperación del agua, como las Naciones Unidas que han identificado protocolos que promueven la estandarización a la hora de realizar la evaluación de la relación entre oferta/demanda de agua que se utiliza como un indicador del nivel de presión sobre los recursos hídricos y es expresada de manera porcentual, a través del Índice de Escasez de Agua Superficial, que permite tener una idea de la magnitud de afectación a la que se someten grandes unidades territoriales por efecto de actividades antrópicas sobre el Recurso Hídrico (Organización de las Naciones Unidas, 2016).

Para Colombia, el IDEAM (2004) ha propuesto una metodología que, apoyada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Comunidad Andina de Naciones (CAN), busca evaluar el índice de escasez a nivel municipal para estandarizar variadas metodologías aplicadas a nivel regional y que en su concepción metodológica suelen dejar a un lado variables como las variaciones derivadas de las temporadas de estiaje o las variaciones que se presentan interanualmente de las corrientes abastecedoras lo que conduce a tener una incertidumbre sobre los resultados obtenidos; de otra parte el IDEAM como organismo rector pretende como se dijo anteriormente se utilice su metodología para evaluar los diferentes índices relacionados con el Recurso Hídrico.

Algunas experiencias han aplicado el índice de escasez como criterio técnico para actuar de manera afectiva sobre el recurso hídrico, entre otras son de mencionar el Plan de Ordenamiento Ambiental de la cuenca del río Magdalena en la zona norte del Huila, la cuenca de los ríos Cabrera y Pata y la cuenca del Sumapaz en el departamento de Cundinamarca.

Por medio del Decreto 1640 de 2012 se reglamentaron los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las Cuencas Hidrográficas y acuíferos, lo anterior con el fin de incluir el componente de gestión del riesgo, a raíz de los eventos ocurridos durante el fenómeno de la Niña presentado entre los años de 2010 – 2011 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012), el Fondo Adaptación priorizó el desarrollo de 60 Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), dentro de los cuales se encuentra la subzona hidrográfica del Río Bajo San Jorge, el cual actualmente se encuentra en ejecución de la fase de prospectiva y zonificación (aún no se han publicado resultados), siendo vigilado por la comisión conjunta conformada por: Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS), Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Mojana y el San Jorge (CORPOMOJANA), Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE) y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

1.2.2 Pregunta de investigación.

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad al desabasteciendo hídrico superficial de la Subcuenca Arroyo Grande Corozal y como se ve afectada la serie de caudales modelados si se varia algunos de sus parámetros de entrada?

1.3 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se observado el grave deterioro de la subcuenca del Arroyo Grande Corozal en cuanto a la disponibilidad de agua de buena calidad, debido a los vertimientos realizados por los municipios de Sincelejo, Corozal y Morroa, problema que se ha intensificado por la variabilidad climática que afecta la oferta hídrica, adicionalmente ninguno de estos municipios cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales y el único que se ha construido son unas lagunas de oxidación, para reducir al menos la carga contaminante que aportan los 256.000 sincelejanos. Sin embargo, el actual Plan de Desarrollo Departamental afirma que en 2010 el 27% de Sucre consumió agua con altos niveles de riesgo para la salud, de los municipios por donde pasa el Arroyo sólo San Juan de Betulia se encuentra dentro de ese porcentaje. Morroa consume agua “en nivel de riesgo medio” (como el 19% del departamento), Los Palmitos hace parte del 24% que toma agua con “bajo riesgo” y se asegura que el líquido de Corozal, Sincelejo y Sincé no supone ningún riesgo (Mier Corpas, 2004).

Se hace necesario tener conocimiento de la relación oferta-demanda presentes en la subcuenca con el fin de hacer un diagnóstico de las condiciones actuales para conocer la situación real y estimar el potencial de la misma, favoreciendo la formulación de proyectos y planes que permitan el desarrollo integral del territorio enfocados en las necesidades particulares.

El objetivo principal del trabajo es determinar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico de la subcuenca del Arroyo Grande Corozal aplicando la experiencia y conocimientos de trabajos anteriores realizados por el IDEAM y el proceso de que vienen adelantando las corporaciones ambientales para la formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Río Bajo San Jorge y finalmente proponer medidas de adaptación y/o mitigación que sirvan para proteger y regular el uso del Recurso Hídrico

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Estimar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH) de la Subcuenca Arroyo Grande Corozal (2502-01-07).

1.4.2 Objetivos específicos.

- Calcular la serie de caudales históricos desde 1997 hasta 2017, por medio del modelo lluvia escorrentía.
- Estimar la oferta y demanda hídrica superficial total.
- Analizar la respuesta del modelo lluvia escorrentía, frente a la variación de los parámetros de entrada.
- Estimar los indicadores hídricos: índice de retención y regulación hídrica (IRH) e índice del uso del agua (IUA).
- Determinar el grado de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico por la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Formular medidas de mitigación ante un escenario de desabastecimiento hídrico.

2 MARCOS DE REFERENCIA

El presente trabajo recopila los conceptos básicos de disponibilidad del recurso hídrico superficial y las distintas demandas sectoriales, lo anterior dentro del marco teórico y metodologías empleadas en los diferentes estudios Nacionales del Agua elaborados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010), el cual ha construido un sistema indicadores hídricos (antrópicos y naturales), los cuales en el momento de la ordenación y planificación de territorio toma un papel fundamental adoptado en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), en la **Figura 2-1** se muestra los documentos en los cuales se encuentra definido esta investigación



Figura 2-1. Resumen del marco de referencia.

2.1 MARCO GEOGRÁFICO.

La subcuenca Arroyo Grande Corozal, cuenta con un área total de 65886,70 ha, la cual abarca los municipios de Corozal, El Roble, Galeras, Los Palmitos, Morroa, San Benito Abad, San Juan de Betulia, San Luis de Sincé y Sincelejo, todos los anteriores en el Departamento de Sucre, en la **Figura 2-2**, se muestra la distribución espacial de cada uno de los municipios en la Subcuenca.

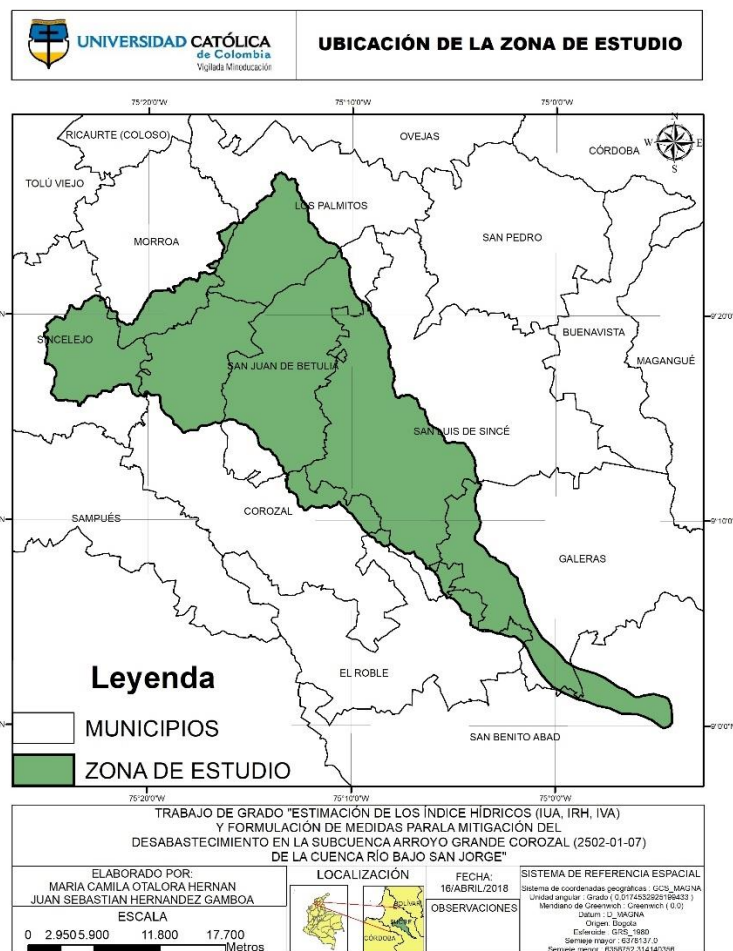


Figura 2-2. Límites geográficos y delimitación de la zona de estudio. Fuente: Autores.

En la **Tabla 2-1**, se encuentra el listado de estos municipios, el área que tiene cada uno dentro de la Subcuenca con su respectivo porcentaje de ocupación; en la Subcuenca tiene influencia la Corporación Autónoma Regional de Sucre (Corporación Autónoma Regional de Sucre, 2018).

Tabla 2-1 Municipios pertenecientes a la Subcuenca. Fuente: (Corporación Autónoma Regional de Sucre, 2018).

Municipio	Departamento	Área (ha)	Área (%)
Corozal	SUCRE	9765,72	14,82
El Roble		1063,75	1,61
Galeras		6204,68	9,42
Los Palmitos		7184,98	10,91
Morroa		2946,91	4,47

San Benito Abad		2042,80	3,10
San Juan de Betulia		13191,81	20,02
San Luis de Sincé		17686,68	26,84
Sincelejo		5799,36	8,80
Total		65886,70	100

Para la zonificación se toma la información suministrada por la cartilla de Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia, dado lo anterior la zona objeto de estudio, está enmarcada dentro del área hidrográfica (AH), del Magdalena-Cauca, zona hidrográfica (ZH) del Bajo Magdalena-Cauca -San Jorge y Nivel Subsiguiente (NSS), del Rio Bajo San Jorge (2502-01) (IDEAM, 2013).

2.2 MARCO DEMOGRÁFICO.

En la **Tabla 2-2**, se presenta la distribución poblacional de la Subcuenca objeto de estudio, en donde los cascos urbanos son lo que mayor concentración de población poseen ya que en las áreas rurales se desarrollan las actividades agropecuarias en las cuales están los principales actividades económicas de la zona, en especial las actividades de ganadería extensiva, cultivos de yuca y arroz.

Tabla 2-2 Distribución poblacional. Fuente: (Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Estadística, 2018)

Departamentos	Municipios	Urbano	Rural	Total
Sucre	Sincelejo	248.979	4.460	253.439
	Corozal	51.616	11.214	62.830
	Morroa	6.710	1.350	8.060
	San Juan de Betulia	6.529	6.095	12.624
	Los Palmitos	9.032	6.566	15.598
	Sincé	25.888	8.128	34.016
	Galeras	12.576	7.939	20.515
	El Roble	4.442	6.228	10.670
	San Benito Abad	5.308	20.415	25.723

3 METODOLOGÍA.

Este proyecto se desarrolló de acuerdo a los requerimientos establecidos por la organización meteorológica mundial en cuanto al tratamiento de datos hidro climáticos (Organización Meteorológica Mundial, 1994) y la estimación de indicadores hídricos del IDEAM, sugeridos por el Estudio Nacional del Agua (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010).

En la **Tabla 3-1**, se presentan las 4 fases con las actividades ejecutadas durante en este proyecto, el cual se desarrolló durante 32 semanas (8 meses).

Tabla 3-1. Cronograma de actividades. Fuente: Autores.

Fase	Actividades
Fase 1	Delimitación de la zona de estudio
	Revisión de estudios previos
	Inventario de estaciones hidrometeorológicas en la subcuenca y entorno regional
	Tratamiento de datos hidro climáticos
Fase 2	Delimitación de las microcuencas
	Estimación de parámetros morfométricos
	Estimación del número de curva
Fase 3	Montaje del modelo lluvia escorrentía en el software Hec-Mms
	Análisis comparativo entre los resultados según la variación de los parámetros
	Estimación de oferta hídrica
	Estimación de demanda hídrica
Fase 4	Estimación del índice de retención y regulación hídrica (IRH)
	Estimación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico
	Formulación de medidas de mitigación

3.1 FASE 1.

La zona de estudio se delimitó, según la disponibilidad de información a la que pudieron tener acceso los autores; para la zona de influencia se identificaron las estaciones meteorológicas, que permiten especializar la variable precipitación monitoreada en el área de estudio; no obstante se tiene en cuenta que algunas de estas estaciones la información con la que cuentan es incompleta según la variable estudiada, por lo que es necesario realizar un chequeo de la información a lo largo de los años teniendo en cuenta el rango de información trabajado fue el comprendido entre los años de 1997 y 2017, las estaciones seleccionadas fueron las mostradas en la Tabla 3-2, a las cuales se realizó el tratamiento estadístico de datos (**ver anexo 1** “Información original y tratamiento de datos”), posteriormente se dio paso al llenado de datos faltantes por medio de la técnica de Razón de valores normales, se aplicó test de persistencia y consistencia para así verificar datos atípicos o erróneos (**ver anexo 2** “Consistencia y persistencia”).

Tabla 3-2. Estaciones seleccionadas. Fuente: Autores.

Nombre	Código	Responsable	Cota	X	Y
SINCELEJO	25020130	IDEAM	200	853943.379	1521375.87
CHARCON	25020390	IDEAM	150	881558.091	1531133.64
APTO RAFAEL BARVO	25025080	IDEAM	166	867554.895	1524172.76

En la **Figura 3-1**, se muestra la distribución espacial de las estaciones; para determinar el área de influencia que tiene cada una de estas estaciones en la subcuenca se trazaron polígonos de Thiessen por medio del software Arcgis en el Anexo 3 Salidas cartográficas, se puede apreciar la ubicación espacial de estos polígonos

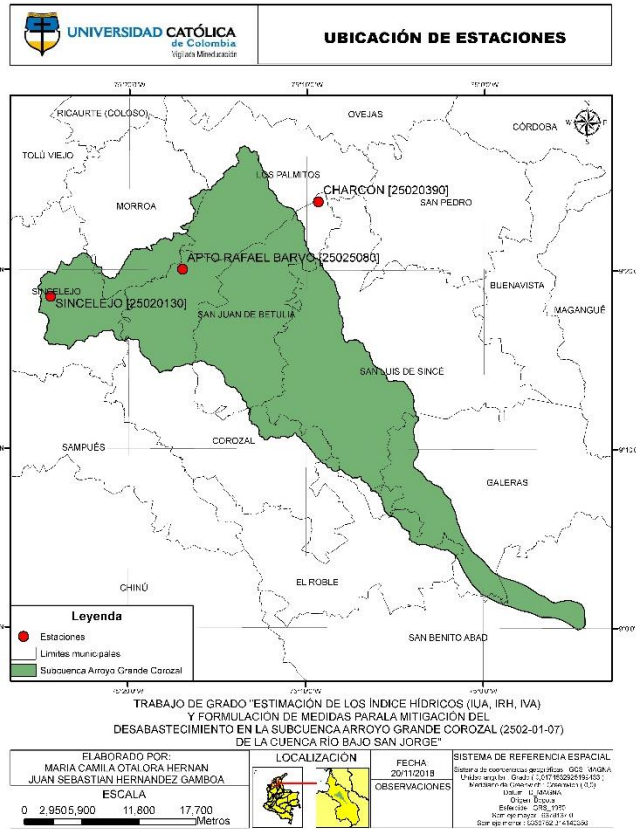
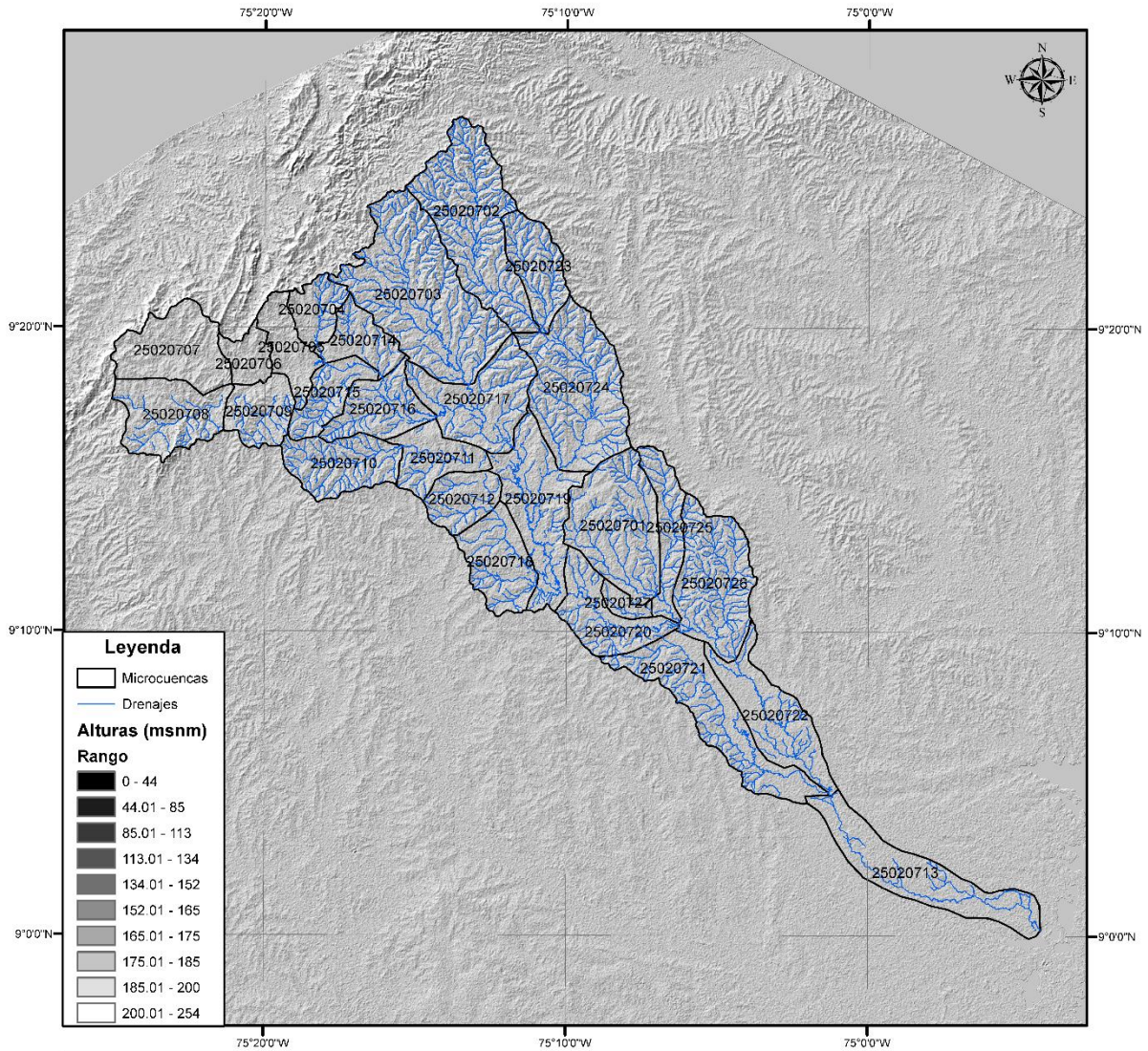


Figura 3-1. Ubicación de estaciones Fuente: Autores.

3.2 FASE 2.

La delimitación a nivel de microcuencas se realizó mediante el software ArcGIS utilizando las herramientas hidrológicas del mismo, aplicando el concepto de que son espacios geográficos limitados por divisorias de agua (límite establecido entre dos microcuencas), para este procedimiento se usó el modelo digital de elevación y el shapefile de los cauces principales a escala 1:25.000 suministrado por el IGAC, se trazaron las divisorias de agua sobre el modelo digital de elevación, una vez definidas las microcuencas (ver Figura 3-2) por medio de este mismo software y su herramienta de spatial analyst se extrajeron los datos necesarios para la estimación de los parámetros morfométricos asociados a la forma y relieve de las microcuencas y la red de drenaje (ver **Anexo 4** Parámetros morfométricos), con los shapefiles de coberturas vegetales de la tierra (Corine Land Cover) y tipo de suelos a escala 1:25000 suministrados por CARSUCRE .se hizo la intersección de estas capas en arcgis para estimar el número de curva.



TRABAJO DE GRADO "ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVH) Y FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DEL DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502-01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE"

ELABORADO POR: MARIA CAMILA OTALORA HERNAN JUAN SEBASTIAN HERNANDEZ GAMBOA	LOCALIZACIÓN 	FECHA: 20/11/2018 OBSERVACIONES	SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL Sistema de coordenadas geograficas : GCS_MAGNA Unidad angular : Grado (0,0174532925199433) Meridiano de Greenwich : Greenwich (0,0) Datum : D_MAGNA Origen : Bogota Esferoide : GRS_1980 Semieje mayor : 6378137,0 Semieje menor : 6356752,314140386
ESCALA 0 2,9505,900 11,800 17,700  Metros			

Figura 3-2. Delimitación de microcuencas. Fuente: autores.

3.3 FASE 3.

Los valores de los caudales se obtuvieron por medio del modelo (lluvia- escorrentía), para ello fue necesario usar este modelo debido a que las estaciones existentes dentro y cercanas a la zona no reportaron datos o tenían un elevado número de datos faltantes (cantidad de datos no representativos), por lo que para el desarrollo de este modelo se usó el software HEC HMS en donde se ingresaron los datos de los estaciones meteorológicas que reportaron datos de precipitación diaria, información de las microcuencas junto a las redes de drenaje y numero de curva.

Se obtuvieron los caudales medios diarios para el periodo de tiempo entre los años de 1997-2017, con estos resultados se estimará la oferta hídrica disponible la cual corresponde a los caudales medios mensuales, menos el caudal ambiental

Para la estimación de este parámetro se tuvo en cuenta la demanda sectorial doméstica, teniendo como base de cálculo los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) tituló B (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), mediante el cual según el número de habitantes, se asignó un nivel complejidad del sistema; teniendo en cuenta elementos adicionales relacionados, a la altura sobre nivel del mar, con el fin de determinar el piso térmico que se ajusta, una vez elegidos y establecidas estas dos variables se eligió la dotación neta, que corresponde a la expresión (litros / habitante*día). Por medio de los POT y los planes de desarrollo encontrando el tipo de cultivo y las áreas que se tienen para el desarrollo agrícola, de acuerdo a la escala de trabajo se consultará la cobertura vegetal de la cuenca donde se identifica el coeficiente del cultivo, de este modo se determinará cual es la cantidad de agua efectiva que necesita el cultivo para su cosecha.

3.4 FASE 4.

Se siguió la metodología planteada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el estudio nacional del agua (ENA) 2010, donde el índice de retención y regulación hídrica se estimó en base en la curva de duración de caudales medios diarios, obtenida del modelo lluvia escorrentía. Esta curva de frecuencias permitió reconocer las condiciones de regulación de la cuenca y los valores característicos de caudales medios, firmes y de la misma manera interpretar en forma general, las características del régimen hidrológico de un río y el comportamiento de la retención y la regulación de humedad en la cuenca (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010).

Ecuación 3.1. Estimación del IRH.

$$IRH = V_p/V_t$$

Donde:

IRH: índice de Retención y Regulación Hídrica.

Vp: volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio.

Vt: volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

Tabla 3-3. Rangos y categorías del IRH. Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010)

Rango del indicador	Clasificación
Muy baja	< 0.50
Baja	0.50 - 0.65
Moderada	0.65 - 0.75
Alta	0.75 - 0.85
Muy alta	> 0.85

S IUA corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores de usuarios en un periodo de tiempo ya sea anual o mensual, en una unidad espacial de referencia (área, zona, subzona) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espacio (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010), la estimación de este índice se puede efectuar mediante la siguiente expresión.

Ecuación 3.2 Estimación de IUA

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

Donde:

Dh(jt): Demanda hídrica sectorial en la unidad espacial de referencia j, en el periodo de tiempo t.

Oh(jt): Oferta hídrica superficial disponible en la unidad espacial de referencia j, en el periodo de tiempo t.

En la Tabla 3-4, se muestra los rangos y categorías identificados para el IUA-

Tabla 3-4. Rangos y categorías del IUA. Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010)

Rango	Categoría
> 50	Muy alto
20.01-50	Alto

10.01 - 20	Moderado
1- 10	Bajo
≤ 1	Muy Bajo

El IVH se determinó a través de la matriz de relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010), la Tabla 3-5, muestra la matriz para el cálculo de este índice.

Tabla 3-5. Matriz para el cálculo de IVH. Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010)

IUA	IRH	IVH
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy Bajo	Medio
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy Bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy Bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy Bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy Bajo	Muy alto

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 MORFOMETRIA.

La delimitación de la subcuenca a nivel de microcuencas se realizó mediante el software ArcGIS utilizando las herramientas hidrológicas del mismo, aplicando el concepto de que son espacios geográficos limitados por divisorias de agua (límite establecido entre dos microcuencas), como se detalló en el capítulo de metodología y para la codificación de la microcuencas se tuvo como base de referencia la cartilla de zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia del año 2013, los códigos de las microcuencas se determinaron de la siguiente manera: el primer dígito corresponde a las áreas hidrográficas; sus valores se encuentran entre 1 y 5, para la cuenca objeto de estudio el primer dígito es el número 2 que corresponde al área hidrográfica, los siguientes dos dígitos corresponde a la zona hidrográfica a la cual corresponde, que para este caso sería el número 25, El tercer y el cuarto dígito corresponden a las subzonas hidrográficas, que en total son 311; estas se enumeran iniciando en 01 en cada zona hidrográfica; en el interior de cada zona se encuentran hasta 34 subzonas, para esta cuenca el código de la subzona hidrográfica es 02, El orden en la codificación de los niveles puede darse a partir del punto de entrega o desembocadura (A) y SENTIDO por la derecha se inicia la asignación de valores de forma consecutiva comenzando por 01, hasta que se retorna al punto A.

Tabla 4-1. Identificación de microcuencas. Fuente: Autores.

Código	Área (ha)	Área (%)
25020701	3796.89	5.76
25020702	4719.06	7.16
25020703	6294.99	9.55
25020704	1049.01	1.59
25020705	1308.44	1.99
25020706	818.95	1.24
25020707	2625.44	3.98
25020708	2493.29	3.78
25020709	1438.77	2.18
25020710	2138.76	3.25
25020711	1527.85	2.32
25020712	1312.77	1.99
25020713	3506.25	5.32
25020714	1285.42	1.95
25020715	1275.84	1.94
25020716	1796.86	2.73

25020717	2976.68	4.52
25020718	2076.36	3.15
25020719	3298.68	5.01
25020720	2035.12	3.09
25020721	3689.79	5.60
25020722	2685.73	4.08
25020723	1705.97	2.59
25020724	4677.12	7.10
25020725	1519.38	2.31
25020726	3444.48	5.23
25020727	387.11	0.59
Total	65884.97	100

4.2 OFERTA HÍDRICA.

La oferta hídrica superficial, representa el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Al no contar con los valores de caudal medio de las estaciones limnimétricas y limnigráficas dentro de la subcuenca Arroyo Grande Corozal, se desarrolló el modelo lluvia-escorrentía el cual incluyó las relaciones entre la precipitación y el tipo de cobertura vegetal para de esta manera determinar el agua que se infiltra y la que escurre por la superficie hacia los cuerpos hídricos, mediante el software hec-hms, se obtienen los caudales medios diarios para el periodo de tiempo entre los años de 1995-2015 (ver **anexo 5 serie de caudales**), con estos resultados se estimó la oferta hídrica disponible la cual corresponde a los caudales medios mensuales, menos el caudal ambiental para la estimación de este caudal se tuvo en cuenta los caudales mínimos presentados en el 95%.

Mediante la Gráfico 4-1, se presenta el promedio del mensual multianual de las microcuencas que componen las Subcuenca de estudio, reflejando que entre los meses de enero a mayo se presentan los valores más bajos en cuanto oferta (periodo seco) y entre los meses de junio a noviembre los de mayor oferta (periodo húmedo) el mes de diciembre se puede asumir como el mes de transición, los datos de la oferta mensual multianual de cada una de las microcuencas se puede encontrar en el **anexo 6 oferta hídrica**.

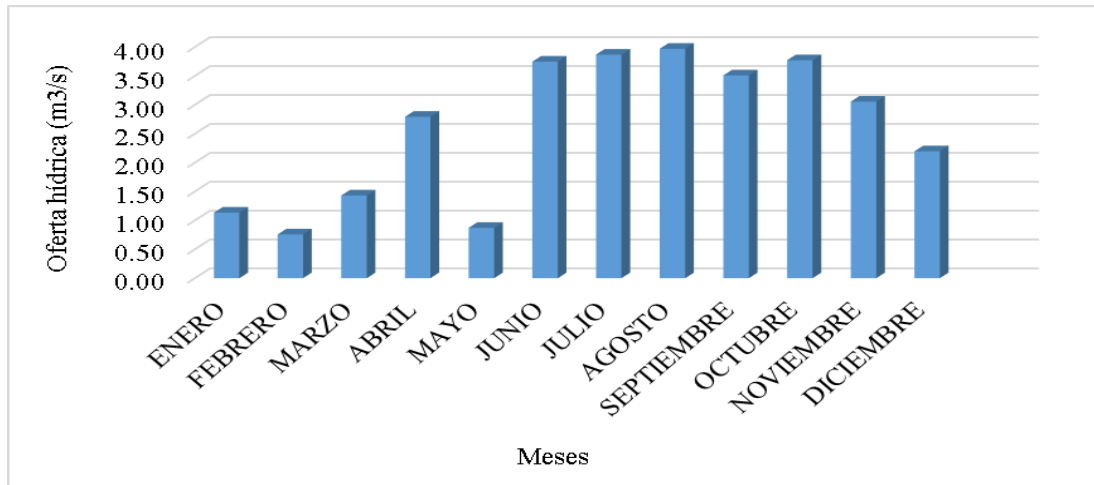


Gráfico 4-1 Oferta hídrica

4.3 DEMANDA HÍDRICA.

La demanda Hídrica comprende “La sustracción de agua del sistema natural destinada a suplir las necesidades y los requerimientos de consumo humano, producción sectorial y demandas esenciales de los ecosistemas existentes sean intervenidos o no. La extracción y, por ende, la utilización del recurso implica sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico, incluidos en este los sistemas de almacenamiento que limitan el aprovechamiento para usos compartidos u otros usos excluyentes” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010). Para la estimación de este parámetro se tuvo en cuenta la demanda sectorial doméstica, teniendo como base de cálculo los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) título B, mediante el cual, según el número de habitantes, se asigna un nivel complejidad del sistema; teniendo en cuenta elementos adicionales relacionados, a la altura sobre nivel del mar, con el fin de poder determinar el piso térmico que se ajusta, una vez elegidos y establecidas estas dos variables se elige la dotación neta, que corresponde a la expresión (litros/habitante*día) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010), el cual se multiplica por el número de habitantes que están dentro de la subcuenca del Arroyo Grande Corozal por cada uno de los 9 municipios.

Tabla 4-2 Demanda domiciliaria. Fuente: Autores

Nombre de municipio	Población			Nivel de complejidad (RAS 2000)	Altura sobre el nivel del mar (msnm)	Clasificación climática (RAS 2000)	Dotación neta diaria (L/hab*día)	Dotación neta mensual (m ³ /s)	Dotación bruta mensual (m ³ /s)	Dotación bruta anual (m ³ /s)
	Urbano	Rural	Total							
Corozal	44831	12469	57300	Medio Alto	9	Clima Cálido	135	0.007	0.009	0.110
El Roble	3659	5748	9407	Medio Alto	13	Clima Cálido	135	0.001	0.002	0.018
Galeras	10436	6815	17251	Medio Alto	25	Clima Cálido	135	0.002	0.003	0.033
Los Palmitos	8704	10212	18916	Medio Alto	48	Clima Cálido	135	0.002	0.003	0.036
Morroa	5516	7268	12784	Alto	56	Clima Cálido	139	0.002	0.002	0.024
San Benito Abad	5474	17328	22802	Alto	65	Clima Cálido	148	0.003	0.004	0.046
San Juan de Betulia	6178	6037	12215	Alto	69	Clima Cálido	152	0.002	0.002	0.025
Sincé	21866	8540	30406	Alto	72	Clima Cálido	155	0.004	0.005	0.065
Sincelejo	218430	18350	236780	Alto	73	Clima Cálido	156	0.035	0.042	0.506

Por otra parte, en la demanda sectorial agrícola se usó como base de cálculo el censo nacional agropecuario del año 2014, donde se tomó las áreas cultivadas y el tipo de cultivos, esto con el fin de poder determinar los índices de consumo, el censo nacional agropecuario cuenta con una escala amplia, para un desarrollo más detallado se buscó información en las alcaldías de los municipios, por medio de los POT y los planes de desarrollo, encontrando el tipo de cultivo y las áreas que se tienen para el desarrollo agrícola, de acuerdo a la escala de trabajo se consultó la cobertura vegetal de la subcuenca donde se identifica el coeficiente del cultivo, de este modo se determinó cual es la cantidad de agua efectiva que necesita el cultivo para su cosecha (**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2012**), para cada una de las etapas de desarrollo, con el fin de identificar que demanda hídrica (ver **anexo 7** demanda hídrica), en la **Tabla 4-3** se presenta el resumen de las demandas hídricas estimadas por municipio.

Tabla 4-3 Demanda total municipal. Fuente: Autores

Nombre de municipio o corregimiento departamental	Demanda total (m ³ /s)	Demanda agrícola (m ³ /s)	Demanda domiciliaria (m ³ /s)
Corozal	7.493548	7.383167	0.110381
El Roble	3.626430	3.608308	0.018121
Galeras	5.405498	5.372266	0.033232

Los Palmitos	3.738023	3.701584	0.036439
Morroa	3.205914	3.181572	0.024342
San Benito Abad	5.103414	5.057186	0.046229
San Juan de Betulia	3.044392	3.018958	0.025434
Sincé	8.199557	8.134997	0.064561
Sincelejo	5.470093	4.964097	0.505996

En la se muestra la demanda hídrica total para cada una de las 27 microcuencas delimitadas en la subcuenca Arroyo Grande Corozal.

Tabla 4-4 Demanda hídrica total por microcuencas. Fuente: Autores.

Microcuencas	Demanda hídrica total (m ³ /s)
25020701	0.713264461
25020702	0.886497719
25020703	1.182544117
25020704	0.19706218
25020705	0.245796488
25020706	0.153843878
25020707	0.49320184
25020708	0.468376669
25020709	0.270279147
25020710	0.401776194
25020711	0.287013174
25020712	0.246610123
25020713	0.658665763
25020714	0.241471919
25020715	0.239672811
25020716	0.337548618
25020717	0.559183327
25020718	0.390053707
25020719	0.619673688
25020720	0.382307359
25020721	0.693145106
25020722	0.50452661
25020723	0.320473909
25020724	0.878619653

25020725	0.285422271
25020726	0.647062656
25020727	0.072721341

4.4 ÍNDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HÍDRICA (IRH).

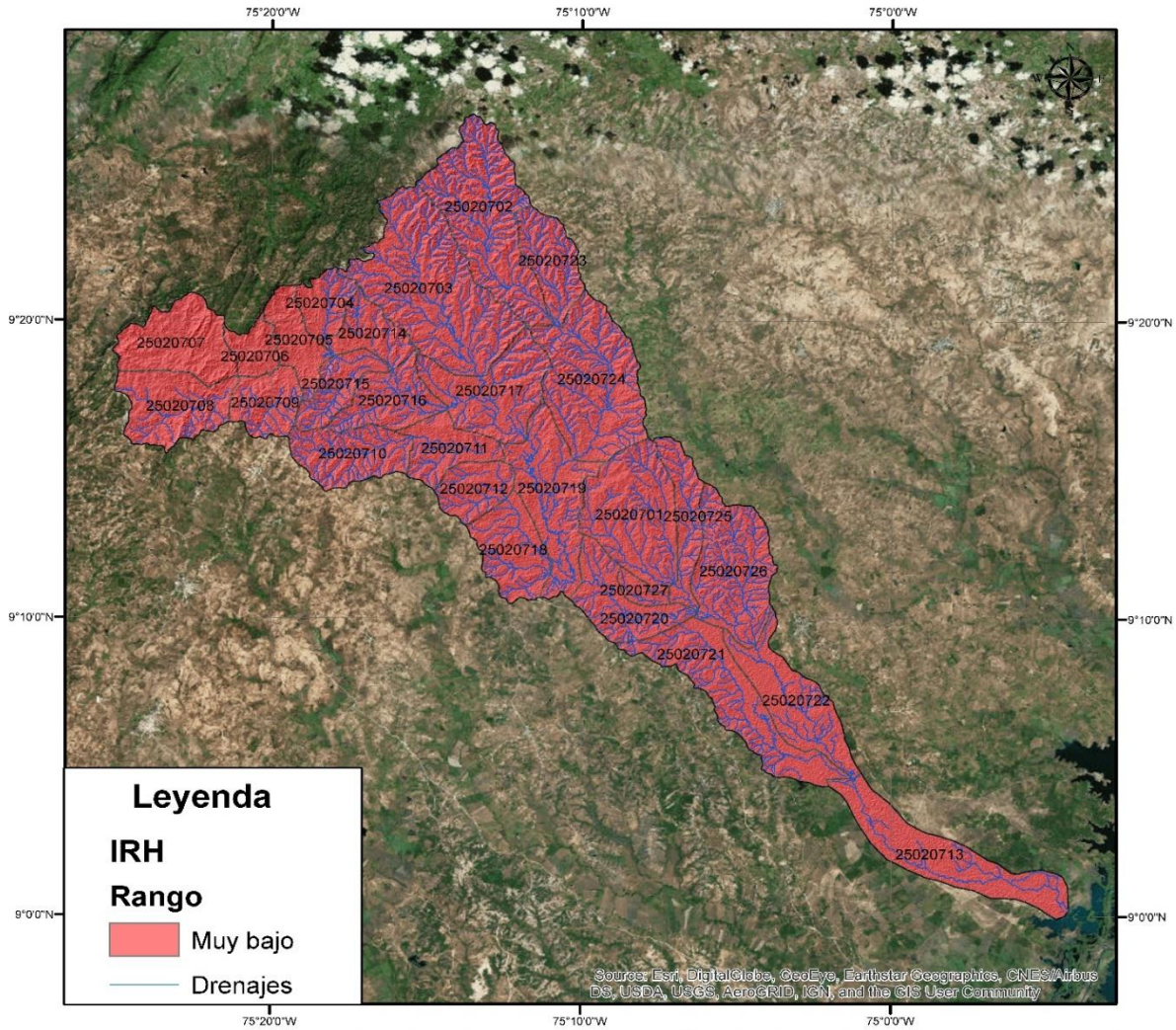
En la Tabla 4-5, se muestra el valor estimado para el IRH para cada una de las 27 microcuencas de la subcuenca objeto de estudio, los valores de los volúmenes representado por el área bajo la línea del caudal medio y de los caudales totales, se extrajo de los valores de los caudales medios diarios obtenidos mediante la aplicación del modelo lluvia escorrentía.

Tabla 4-5 Índice de regulación hídrica. Fuente: Autores.

Microcuenca	Vp (m3/s)	Vt (m3/s)	IRH	Rango (IRH)
25020701	4875.90	10561.55	0.46	Muy Bajo
25020702	4875.90	13128.60	0.37	Muy Bajo
25020703	8084.18	17510.91	0.46	Muy Bajo
25020704	1345.95	2915.43	0.46	Muy Bajo
25020705	1684.56	3648.87	0.46	Muy Bajo
25020706	1049.67	2273.67	0.46	Muy Bajo
25020707	3369.11	7297.74	0.46	Muy Bajo
25020708	3199.81	6931.02	0.46	Muy Bajo
25020709	1845.39	3997.25	0.46	Muy Bajo
25020710	2751.16	5959.21	0.46	Muy Bajo
25020711	1963.91	4253.96	0.46	Muy Bajo
25020712	1684.56	3648.87	0.46	Muy Bajo
25020713	4503.44	9754.77	0.46	Muy Bajo
25020714	1650.70	3575.53	0.46	Muy Bajo
25020715	1642.23	3557.19	0.46	Muy Bajo
25020716	2310.98	5005.74	0.46	Muy Bajo
25020717	3826.23	8287.89	0.46	Muy Bajo
25020718	2666.51	5775.85	0.46	Muy Bajo
25020719	4241.02	9186.35	0.46	Muy Bajo
25020720	2615.72	5665.83	0.46	Muy Bajo
25020721	4740.46	10268.18	0.46	Muy Bajo
25020722	3453.76	7481.10	0.46	Muy Bajo
25020723	2192.46	4749.03	0.46	Muy Bajo
25020724	6010.23	13018.58	0.46	Muy Bajo
25020725	1955.44	4235.62	0.46	Muy Bajo
25020726	4427.25	9589.74	0.46	Muy Bajo

25020727	499.44	1081.83	0.46	Muy Bajo
----------	--------	---------	------	----------

Según los valores mostrados en la tabla anterior el 100% de las microcuencas presentan una muy baja retención y regulación hídrica (correspondiente al color rojo), por lo que las comunidades asentadas en la subcuenca Arroyo Grande Corozal podrían presentar problemas de desabastecimiento hídrico lo que condicionaría el desarrollo de las múltiples actividades antrópicas ejercidas en la zona especialmente en la Microcuenca 25020702 ya que, fue la que mejor valor de este índice obtuvo, en la Figura 4-1 se presenta la distribución espacial de este índice en la zona de estudio.



TRABAJO DE GRADO "ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVH) Y FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DEL DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502-01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE"

ELABORADO POR: MARIA CAMILA OTALORA HERNAN JUAN SEBASTIAN HERNANDEZ GAMBOA	LOCALIZACIÓN 	FECHA: 20/11/2018 OBSERVACIONES	SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL Sistema de coordenadas geográficas: GCS_MAGNA Unidad angular: Grado (0,0174532925199433) Meridiano de Greenwich: Greenwich (0,0) Datum: D_MAGNA Origen: Bogota Esferoide: GRS_1980 Semieje mayor: 6378137,0 Semieje menor: 6356752,314140356
ESCALA 0 2,950 5,900 11,800 17,700 Metros			

Figura 4-1. Índice de retención y regulación hídrica. Fuente: Autores.

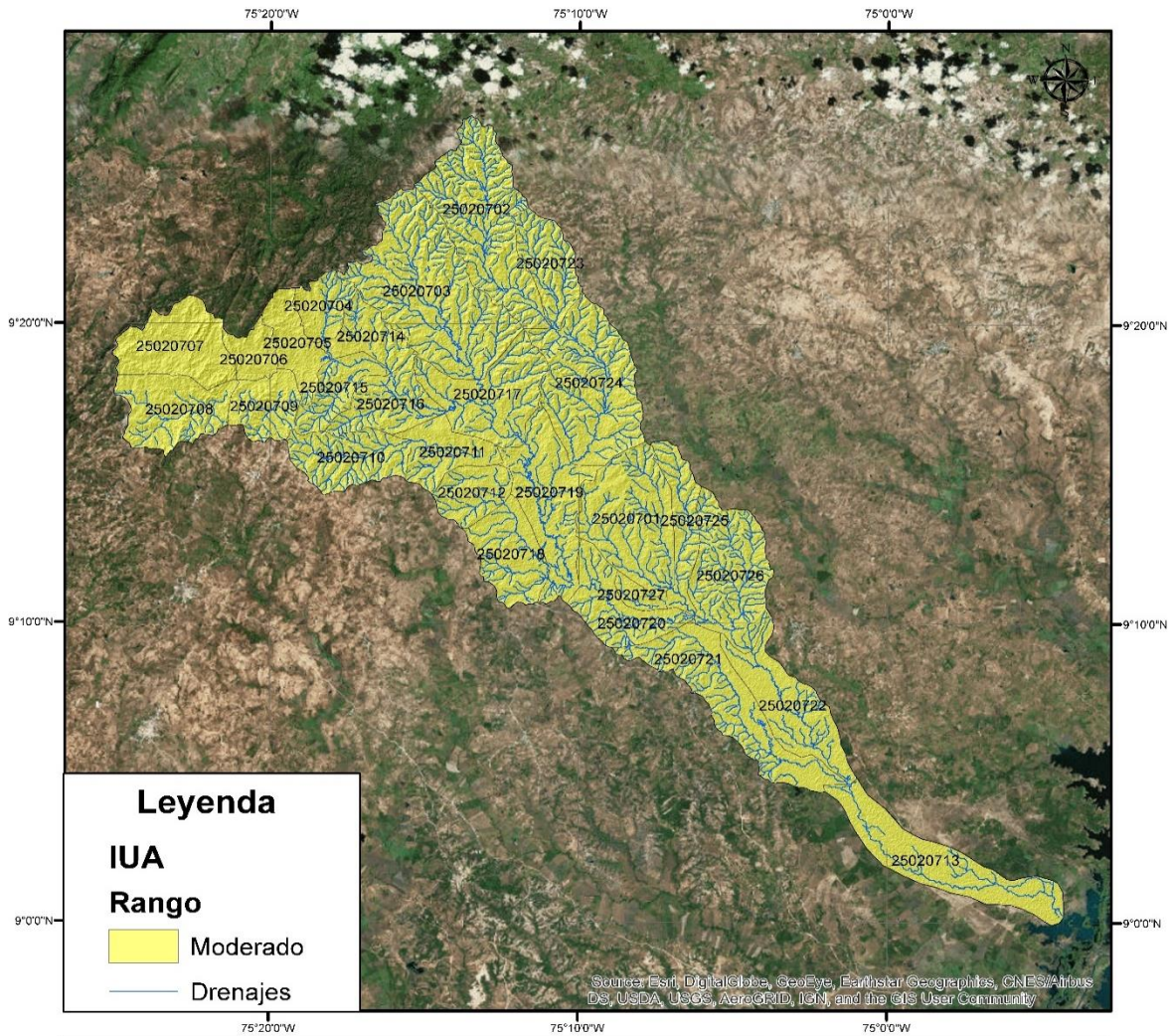
4.5 ÍNDICE DEL USO DEL AGUA (IUA).

En la Tabla 4-6 , se muestra el valor del IUA y su respectiva clasificación para cada una de las microcuencas de la subcuenca Arroyo Grande Corozal, este índice se estimó a partir de los valores de la oferta y demanda hídrica calculados en capítulos anteriores.

Tabla 4-6 Índice del uso del agua. Fuente: Autores.

Microcuencas	Oferta (m ³ /s)	Demanda (m ³ /s)	IUA	Rango
25020701	4.37836945	0.71326446	16.3	Moderado
25020702	5.44176071	0.88649772	16.3	Moderado
25020703	7.25903969	1.18254412	16.3	Moderado
25020704	1.20966497	0.19706218	16.3	Moderado
25020705	1.36039284	0.24579649	18.1	Moderado
25020706	0.85284889	0.15384388	18.0	Moderado
25020707	2.74167309	0.49320184	18.0	Moderado
25020708	2.57977433	0.46837667	18.2	Moderado
25020709	1.48611261	0.27027915	18.2	Moderado
25020710	2.20907528	0.40177619	18.2	Moderado
25020711	1.57861333	0.28701317	18.2	Moderado
25020712	1.35588435	0.24661012	18.2	Moderado
25020713	3.62115908	0.65866576	18.2	Moderado
25020714	1.32754529	0.24147192	18.2	Moderado
25020715	1.31766342	0.23967281	18.2	Moderado
25020716	1.85574454	0.33754862	18.2	Moderado
25020717	3.07422415	0.55918333	18.2	Moderado
25020718	2.14439946	0.39005371	18.2	Moderado
25020719	3.40678238	0.61967369	18.2	Moderado
25020720	2.10181228	0.38230736	18.2	Moderado
25020721	3.81070574	0.69314511	18.2	Moderado
25020722	2.77373731	0.50452661	18.2	Moderado
25020723	1.76187029	0.32047391	18.2	Moderado
25020724	4.83038963	0.87861965	18.2	Moderado
25020725	1.56916679	0.28542227	18.2	Moderado
25020726	3.5573581	0.64706266	18.2	Moderado
25020727	0.39980031	0.07272134	18.2	Moderado

Según los valores generados para las microcuencas de estudio sobre el índice de uso del agua, se obtuvo que el 100% de las microcuencas tienen un moderado índice del uso del agua pero es alarmante la situación ya que, la relación entre demanda y oferta se ve cada día más afectada dado el incremento de los tiempos secos lo que directamente disminuye la oferta hídrica mientras que, la demanda hídrica en sus distintos sectoriales se ve una tendencia al aumento dados los incrementos en la población en los distintos municipios generando el incremento de bienes y servicios y estos a su vez aumentan el consumo de agua para satisfacer las necesidades de estas poblaciones crecientes, por medio de la **Figura 4-2** se muestra espacialmente el rango de índice del uso del agua para cada una de las 27 microcuencas .



<p>TRABAJO DE GRADO "ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVH) Y FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DEL DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502-01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE"</p>			
<p>ELABORADO POR: MARIA CAMILA OTALORA HERNAN JUAN SEBASTIAN HERNANDEZ GAMBOA</p>	<p>LOCALIZACIÓN</p> 	<p>FECHA: 20/11/2018</p> <p>OBSERVACIONES</p>	<p>SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL</p> <p>Sistema de coordenadas geográficas : GCS_MAGNA Unidad angular : Grado (0,0174532925199433) Meridiano de Greenwich : Greenwich (0,0) Datum : D_MAGNA Origen : Bogota Esferoide : GRS_1960 Semieje mayor : 6378137,0 Semieje menor : 6356752,314140356</p>
<p>ESCALA</p> <p>0 2,950 5,900 11,800 17,700 Metros</p> 			

Figura 4-2. Índice del uso del agua. Fuente: Autores.

4.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO (IVH).

El IVH, permite identificar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta hacia 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 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010).

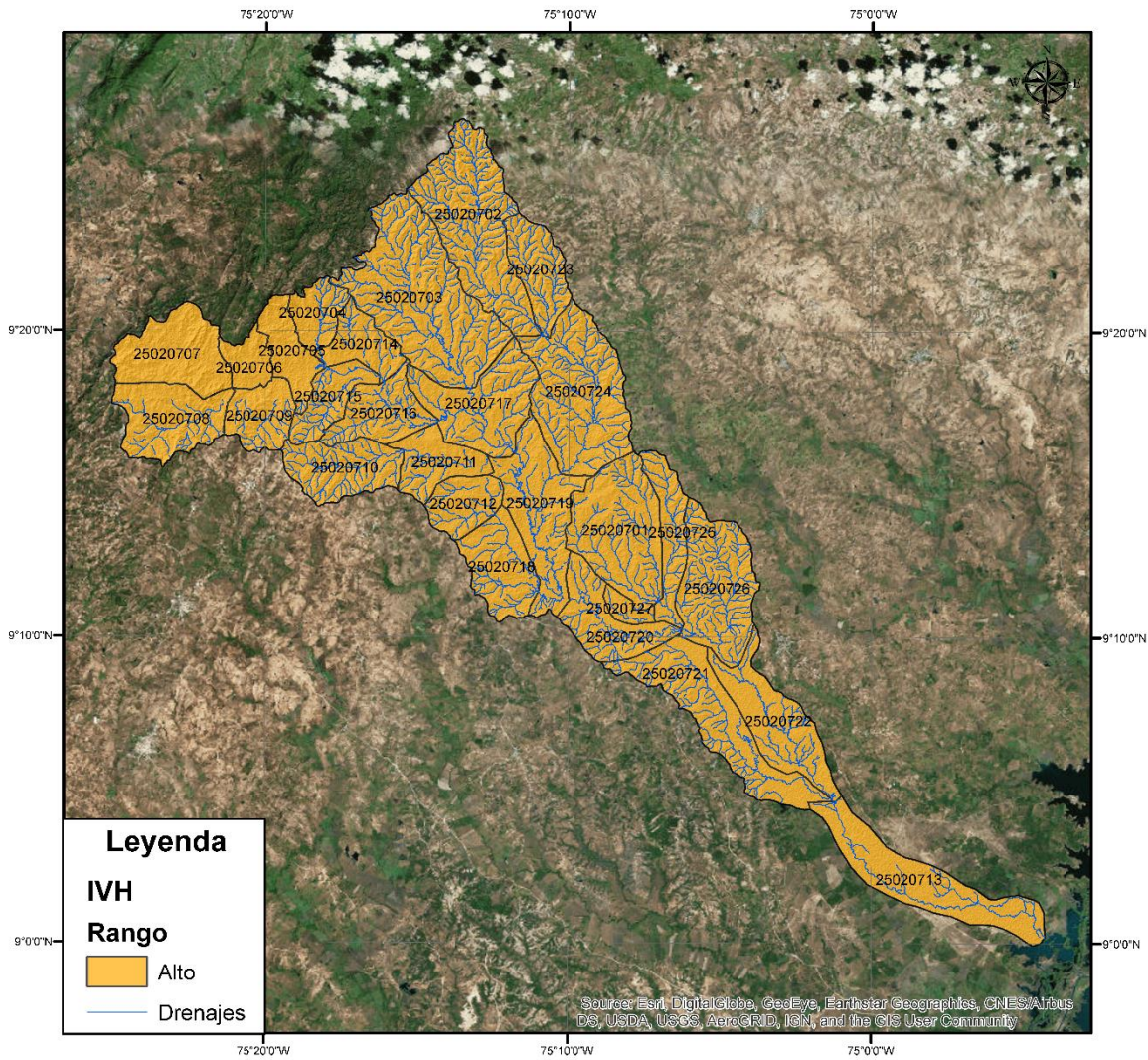
El IVH se determinó a través de la matriz de relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010). La Tabla 4-7, muestra la matriz para el cálculo de éste índice.

Tabla 4-7 Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico. Fuente: Autores.

Microcuencas	Rango (IUA)	Rango (IRH)	Rango (IVH)
25020701	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020702	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020703	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020704	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020705	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020706	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020707	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020708	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020709	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020710	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020711	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020712	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020713	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020714	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020715	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020716	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020717	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020718	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020719	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020720	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020721	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020722	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020723	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020724	Moderado	Muy Bajo	Alto

25020725	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020726	Moderado	Muy Bajo	Alto
25020727	Moderado	Muy Bajo	Alto

La totalidad de la subcuenca se encuentra con un alto índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, por lo cual las poblaciones asentadas en esta zona deben diseñar medidas de adaptación que les permitan generar mecanismos de desarrollo con menores impactos sobre los recursos hídricos, para de esta manera asegurar un desarrollo sostenible para las generaciones futuras, por medio de la **Figura 4-3** se presenta la distribución espacial de este índice en la zona de estudio.



<p>TRABAJO DE GRADO "ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVH) Y FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DEL DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502-01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE"</p>			
<p>ELABORADO POR: MARIA CAMILA OTALORA HERNAN JUAN SEBASTIAN HERNANDEZ GAMBOA</p>	<p>LOCALIZACIÓN</p> 	<p>FECHA: 20/11/2018</p>	<p>SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL Sistema de coordenadas geográficas: GCS_MAGNA Unidad angular: Grado (0.0174532925198433) Meridiano de Greenwich: Greenwich (0.0) Datum: D_MAGNA Origen: Bogotá Esferoide: GRS_1960 Semieje mayor: 6378137.0 Semieje menor: 6356752.314140356</p>
<p>ESCALA</p> <p>0 2,9505,900 11,800 17,700</p> <p>Metros</p>			

Figura 4-3. Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico Fuente: Autores.

4.7 MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN.

La mitigación hace referencia al conjunto de medidas, políticas y herramientas que se pueden tomar o ejecutar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que se pudieran generar producto de algunas intervenciones antrópicas o eventos naturales, con el fin de reducir la vulnerabilidad y atenuar los daños.

Por otro lado, las medidas de adaptación se entienden como la realización de ajustes a los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes, lo que implica ajustarse al cambio. Por lo anterior a nivel local los territorios pueden aportar con medidas adaptativas y a nivel global todos los países deben formular medidas de mitigación encaminadas a un cumplimiento de un mismo objetivo.

En razón a lo anterior, se presentan las medidas de adaptación sustentadas en los resultados obtenidos para la zona de estudio en la Microcuenca 25020702, que presentan un índice alto y medio al desabastecimiento hídrico, entre las cuales se contemplan medidas enfocadas directamente a la formación y educación de la comunidad y otras dirigidas a las diferentes instituciones públicas o entes territoriales, como se resume en la Tabla 4-8.

Tabla 4-8 Medidas. Fuente: Autores.

	MEDIDA ADAPTATIVA
Comunidad	Fortalecimiento de la educación ambiental, como herramienta central para el conocimiento de la variabilidad y cambio climático del recurso hídrico
	Estrategias de promoción y divulgación para el uso eficiente de los recursos naturales a través de medios de comunicación locales y regionales
	Inclusión de Cátedras sobre el cuidado del agua y medidas de prevención para épocas secas.
	Aprovechamiento de aguas lluvias mediante la captación en tanques o cubiertas.
Institucionales	Priorización de áreas vulnerables para la protección y construcción de reservorios
	Utilización de cercas vivas con especies nativas
	Apoyo y fomento para la implementación de sistemas agroforestales

Gobierno	Delimitación, aislamiento, recuperación y conservación de rondas hídricas.
	Restauración de las coberturas vegetales naturales en los sectores identificados con importancia ecológica.
	Implementación de la huella hídrica en los sectores institucionales, agrícolas e industriales.
	Utilización de las aguas subterráneas teniendo en cuenta el gran potencial hidrogeológico de la zona, que cuenta con la presencia de acuíferos de alta productividad como el de Betulia, y que hacen parte de una zona de recarga de gran importancia. (POMCA río Bajo San Jorge).
	Instalación de redes de monitoreo y seguimiento de los puntos de captación y de abastecimiento de pozos, para ejercer un control más estricto y evitar la sobreexplotación.

5 CONCLUSIONES.

El presente proyecto permitió particularizar la Subcuenca Arroyo Grande Corozal, subdividiendo el área en 27 microcuencas para realizar un análisis de las condiciones de cada una de estas, en donde se estudiaron los parámetros de la oferta hídrica frente a demanda hídrica, y se estimó el índice al desabastecimiento hídrico.

Frente a los resultados obtenidos del índice de regulación hídrica- IRH que es el indicador de la cantidad de humedad que puede retener una cuenca, en este caso cada microcuenca analizada, tiene una calificación de “Muy Bajo” lo que es una mala señal del estado actual del sistema hídrico en la zona de estudio, es decir, que no se tiene una buena retención de humedad en las microcuencas.

Por otra parte, el índice del uso del agua- IUA que corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado y por unidad espacial de cada microcuenca en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales, presenta una calificación de “moderado” para las 27 microcuencas estudiadas, lo que es una condición que debe generar alerta en los diferentes entes territoriales a cargo del suministro del recurso hídrico con el fin de propender un sistema equilibrado.

Al analizar el índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico-IVH en la zona de estudio, es preocupante ver la calificación de “Alto” para la totalidad de las microcuencas analizadas, teniendo en cuenta el potencial de agua subterránea que posee la zona sería de esperar que los entes territoriales le apuesten al conocimiento hidrogeológico del sector a fin de aprovechar más estas fuentes hídricas, sin dejar de lado la protección y preservación del agua superficial actualmente sobreexplotada.

Es importante tener en cuenta las recomendaciones dadas a través de las medidas de adaptación propuestas en el presente trabajo, que se encuentran enfocadas al crecimiento en la cultura

ambiental, a fomentar el conocimiento de los sistemas hídricos, a implementar buenas prácticas productivas y también a fortalecer la inversión en la preservación y protección del agua.

Actualmente, la política colombiana frente a los temas ambientales y en especial a lo relacionado al recurso hídrico se encuentra por buen camino, proponiendo cada vez más el conocimiento de los sistemas fluviales tanto superficiales como subterráneos, la protección y preservación de los mismos, por medio de nuevos instrumentos que facilitan la regulación y protección del agua y los ecosistemas estratégicos, pero es una tarea que recién inicia y su implementación aún es una apuesta al futuro.

6 BIBLIOGRAFÍA

Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo 2016*.

Corporación Autónoma Regional de Sucre. (2018 de 05 de 2018). Obtenido de <http://carsucre.gov.co/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Estadística. (23 de 05 de 2018). Obtenido de <https://censo2018.dane.gov.co/>

IDEAM. (2013). *zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá, D. C., Colombia: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). *Estudio nacional del agua (ENA)*. Bogotá.: IDEAM.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá, Colombia: IDEAM.

Instituto Nacional de Vías . (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.

Jiménez, H. (1986). *Hidrología Básica*. Cali, Valle del Cauca: Universidad del Valle.

- Marín Ramírez, R. (2003). *III SEMINARIO DE ACTUALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL, "GESTION DEL RECURSO HIDRICO EN COLOMBIA"*. Bogotá, Colombia.
- Mier Corpas, M. (2004). *Las tasas retributivas, instrumento económico y eficaz para la descontaminación hídrica por vertimientos puntuales en la Cuenca del Arroyo Grande Corozal (Sucre)*. Sincelejo, Sucre: Universidad de Sucre.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Acta N°.001 Por la cual se conforma la comisión conjunta para la Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bajo San Jorge.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Decreto 1640.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia*. Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330*. Bogotá.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Roma.

Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas*. Organización Meteorológica Mundial.

ANEXOS